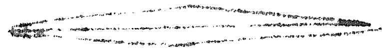
शिल्पविद्या या विषयांचे निबंध.

उपयोगी ज्ञानाचा पुस्तक समूह.

— ० —

शिल्पविद्या
या विषयाचे
निबंध.



हे मूळ निबंध इंग्रेजी भाषेंत आहेत

त्यांचें भाषांतर

विलिअम हेनरी बेल

यांणे नारायणशास्त्री जोशी चौलकर यांचे

साहाय्याने मराठी भाषेंत केलें.

मुकाम मुंबई

सन १८३५

अनुक्रमणिका.

निबंध. १

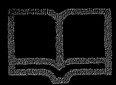
शिल्पसाधनें किंवा आदिचालकें यांविषयीं.

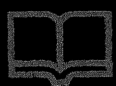
निबंध २

यंत्राच्या बीजांविषयीं

निबंध ३

घर्षण आणि दोरीची अनम्यता





शिल्पविद्या

प्रथम निबंध

शिल्पसाधनें किंवा आदिचालकें यां विषयीं

भाग १. प्रस्तावना

(१) जेणेकरून पदार्थाचे आंगीं गति उत्पन्न होती किंवा जें गति उत्पन्न करण्याविषयीं प्रेरक होतें त्यास बल (force) ह्मणतात. पदार्थावर योजिलेल्या बलांचीं कार्यें कोणतीं कशीं आहेत याचा शोध करणें हें शिल्पविद्येचा उद्देश आहे. असें तिचा नामाचा व्यापक अर्थावरून पाहिलें असतां सिद्ध होतें.

जो पदार्थ स्वतः अचल आहे त्यावर दोन किंवा अधिक बलें लागू झालीं असतां दोन कार्यांतून कोणतेंतरीं एक कार्य उत्पन्न होईल ह्मणजे पदार्थ आपल्या स्थिरस्थितींत राहील किंवा नियमित बलानें कोणीएका नियमित दिशेकडे चलित होईल. जेव्हां तो पदार्थ अचल स्थितींत राहतो तेव्हां त्या पदार्थावर क्रिया करणारीं बलें परस्पर साम्य पावावयाजोगा किंवा परस्परांचीं कार्यें प्रतिहत करायाजोगा परस्परांशीं संबंध ठेवितात, तो आपलें मान आणि दिशा यांचे प्रमाणांत असतो. अशा स्थितींत पदार्थ असतां त्याला समतोलनाचा (equilibrium) अवस्थेंत आहे असें ह्मणतात. आणि जीं बलें पदार्थावर तशी क्रिया करितात त्यांस सामान्यतः समतोलनाचीं बलें ह्मणतात.

जीं बलें पदार्थास समतोलनाचे अवस्थेंत राखायासाठीं पदार्थावर सांगितलेल्या प्रकारानें क्रिया करितात त्या बलांचीं मानें आणि दिशा या दोहोंतला संबंध प्रत्येकाविशेष प्रकरणांत दाखविणें हें मोठें कृत्य किंवा तशा कृत्यांचा वर्ग आहे. अशा कृत्यांचा विचार केल्यानें सांगितलेल्या बलांनीं त्या पदार्थास कांहीं गति प्राप्त होईल

ईल किंवा नाहीं हें सर्वदां कळूं येईल.

पदार्थावर क्रिया करणाऱ्या बलाञ्चा संबंध परस्परांचीं कार्यें सम व्हावयाजोगा नसला तर त्या पदार्थावर अवश्य गति उत्पन्न होईल आणि तो पदार्थ नियमित बलाने नियमित दिशेकडे चलित होईल. पदार्थावर योजिलेल्या बलांचीं मानें आणि त्यांचा दिशा यांचा ज्ञानावरून तो पदार्थ कोणत्या बलाने चलित होईल व त्याचा गतीची दिशा कोणती होईल हें दाखविणे हा दुसरा मोठाच्च कुलवर्ग आहे आणि तो पहिल्या कुलवर्गाहून अगदी निराळा आहे.

statics (२) उक्त प्रकारें या विद्येचे दोन भाग आहेत असें जाणावें. पहिल्या भागास स्थैर्यविज्ञान ह्मणतात या विज्ञानांत पदार्थावर समतोलनाचीं बलें योजिलीं जातात या विषयीं विचार केला आहे.

dynamics (३) दुसऱ्या भागास शक्तिविज्ञान ह्मणतात. या विज्ञानांत पदार्थावर योजिलेलीं बलें समतोलनाचीं नसतात. या विषयीं विचार केला आहे. सारांश प्रथम भागांत पदार्थ स्थिर राहतात आणि दुसऱ्या भागांत पदार्थ गतिमंत होतात असें जाणावें.

(४) यद्यपि या विद्येचे भाग यथाविधि केले आहेत आणि ते कितीएका शिकणारांचा उपयोगासाठीं अशा विद्या ग्रंथांत मानिले पाहिजेत तथापि हा ग्रंथ कोणत्या मनुष्यासाठीं आहे व याचा उद्देश काय असा विचार करितां दुसरी रीति घ्यावी हें बरें दिसलें. यास्तव मनांत शंका न धरितां अनुक्रमाची रीति सोडून जेवढी उपयोगी रीति तेवढी घेतली आहे.

मनुष्यांची इच्छा परिपूर्ण व्हावी एतदर्थ सृष्टींतील पदार्थास नानाप्रकारचे परिणाम भोगावे लागतात. ते परिणाम पावायाविषयीं मुख्य साधन गति (motion) आहे. आतां पाहा मेंढरापासून जी लोंकर कापून घेतली तिचें सूत करायास वर्तुल गति पाहिजे आणि जिणे करून सुतास वस्त्राचें रूप प्राप्त होतें अशी रचना उत्पन्न करायासाठीं त्या सुतावर दुसऱ्या नानाप्रकारचा गति योजिल्या पाहिजेत. आणि वस्त्र विणून सिद्ध झाल्यानंतर धारणादिकांस योग्य होण्याकरितां त्याला अनेका प्रकारचे संस्कार पूर्वी

र्वी केले पाहिजेत. या सर्वांस मुख्य साधन गति आहेत. या गति प्राप्त होण्याविषयीं पाण्याचें पतन वायूचें वाहणें मनुष्य पशु यांची शक्ति इत्यादिक जीं बलें सृष्टींत वास्तविकपणानें वर्तत आहेत तीं घेतलीं आहेत. तथापि नाना प्रकारच्या कृतींचे पदार्थ निर्माण करायासाठीं जीं बलें आणि ज्या गति पाहिजेत तीं सृष्टींतल्या स्वतःसिद्ध बलांहून बहुतकरून भिन्न रूपांचीं आहेत. यास्तव तीं स्वतःसिद्ध बलें आपल्या उपयोगीं पडायासाठीं त्यांस रूपांतर द्यायाविषयीं कांहीं युक्ति योजिली पाहिजे. आतां कांहीं एक काम करायाचें आहे त्या कामासाठीं ज्याचें मान सतत एकसारिखें राही असें बल पाहिजे. जें स्वतःसिद्ध बल स्वाधीन आहे त्याचें मान तर कदाचित् विषम असतें. यास्तव अशी युक्ति योजिली पाहिजे कीं ज्या युक्तीच्या योगानें तें स्वतःसिद्ध बल कसेंही असो तथापि अकृत्रिम शिल्पसाधनापासून कार्यस्थलापर्यंत जाताना त्याचें मान कियेंत सतत एकसारिखें राहील असें त्या बलानें रूप घ्यावें आणि जें कार्यस्थलावर गमनापसरणक्रिया करील. ह्मणजे जसें सामान्य बंबाचे दट्टयावर क्रिया करीत असतें असें बल पाहिजे स्वभावसिद्ध बल तर कदाचित् एकादिशेकडे सर्वदा क्रिया करितें ह्मणजे जसें पाण्याचें वाहणें किंवा पाण्याचें धारारूप पतन किंवा वाऱ्याचें वाहणें करितें. यास्तव पहिली गति बदलून दुसऱ्या प्रकारची गति प्राप्त होई अशी या प्रकारांत अकृत्रिम साधन आणि कार्यस्थल यांचे मधें कांहीं कळ केली पाहिजे. अशा कळायुक्त साधनास यंत्र ह्मणतात. आणि ज्या स्वतःसिद्ध बलास रूपांतर देण्याविषयीं यंत्राची प्रवृत्ति आहे त्या स्वतःसिद्ध बलास आदिचालक ह्मणतात आणि ज्या अवयवावर त्या बलाचें रूप पाहिजे तसें सिद्ध होतें त्या यंत्राचे अवयवास कार्यस्थल ह्मणतात.

जो शिल्पविद्येचा भाग यंत्राचीं बीजें आणि स्वभाव यांविषयीं विचार करायाला अवधिभूत आहे त्यांत दोन उद्देश आहेत. त्यांचा परस्पर संबंध अति सन्निहित आहे. त्या प्रत्येकांवरही बळकट लक्ष्य राहिलें पाहिजे. पहिलें उद्देश्य अकृत्रिम शिल्पसाधन किंवा आदिचालक आणि दुसरें यंत्रें किंवा पहिल्या बलास स्वाभिप्रायानुरूप रूपांतर देणारीं साधनें. या पहिल्या निबंधांत ज्या सृष्टींतल्या शक्ति आदिचालक

रूपानें

रूपाने मिळतात त्यांचा स्वभाव व नियम आणि बलाचे व गतीचे गुण यांचें सामान्यतः वर्णन आहे याजवरच या ग्रंथाचा पाहणाराने लक्ष्य राखावें. यंत्राचीं बीजें वर्णन करायास या रीतीचा अनुरोधाने दुसरा निबंध केला आहे.

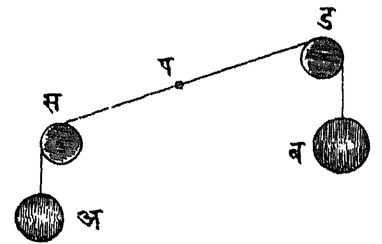
भाग २

बलांचा आणि गतींचा संघात आणि भेदन

यांविषयीं

(८) जांचा दिशा समसूत्रांत समोरासमोर आहेत अशीं दोन समान बलें जर पदार्थाचा एकाच बिंदूवर क्रिया करितात तर तीं बलें त्या पदार्थास स्थिर स्थितींत राखितील. हें समतोलनाचा बलांचें उदाहरण फार साहजिक आहे आणि यामूलकारणाची सत्यता स्वतः स्पष्ट आहे. याची आकृति. या आकृतींत (प) या एका बिंदूस दोन दोऱ्या जोडिल्या आहेत आणि (स-ड) हीं दोन चक्रें स्थिर आसांवर फिरतीं आहेत. आणि त्यांचे धारेवर खोबणी केली आहे. त्या चक्रांवर त्या दोऱ्या टाकिलेल्या असतां (पस) आणि (पड) हे त्याचे भाग समसूत्रांत येतील अशीं तीं ठेविलीं आहेत. आतां (अ ब) हीं दोन समान वजनें दोऱ्यांचे दोहों शेवटांस बांधलीं तीं वजनें (प) या बिंदूस (पस) आणि (पड) या दोहों समोरासमोरचे दिशेकडे समान ओढीत असतां स्पष्ट आहे कीं तीं परस्परांचीं कार्यें प्रतिहत होऊन (प) या पदार्थास समतोलनांत राखितील.

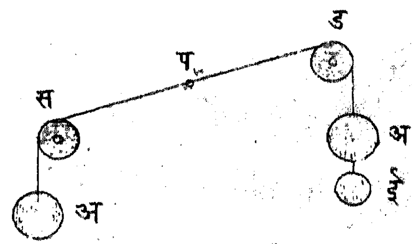
(आ· १)



(९) आतां (ब) हें वजन (अ) या वजनाहून अधिक आहे अशी कल्पना

ना करावी. आणि अधिक आहे यास्तव एथें जें बल (प) या बिंदूस (पस) या दिशेक-
डे ओढितें आहे त्यापेक्षां त्या अधिक बलाने (प) हा बिंदु (पड) या समोरचे दिशेक-
डे ओढिला जाईल आणि तो बिंदु (पड) या दिशेकडे चालायास आंगीं यत्न धरील
हें उघड आहे परंतु केवढा यत्न व त्याचें मान काय किंवा कोणत्या बलाने (प) हा बिं-
दु (पड) या दिशेकडे ओढिला जातो हें सवघडपणाने शोधितां येईल आतां (ब)
या वजनाचे असे दोन भाग कल्पावे किं त्यांतला एक भाग (अ) या वजनाशीं समा-
न आहे तेव्हां दुसरा भाग (अ) आणि (ब) या दोहों वजनांचें अंतर होईल किंवा (अ)
या वजनापेक्षां (ब) या वजनाचें आधिक्य दाखवील. त्या आधिक्यास (ई) ह्म-
णावें आणि त्या आकृतीस पुढील आकृतीचें रूप द्यावें. आतां (अ) हें वजन (पस)
या दिशेकडे क्रिया करीत आहे आणि दुसरें (अ) हें वजनं (पड) या दिशेकडे कि-
या करीत आहे परंतु तीं दोन्ही वजनें एकमेकाशीं समता करितात यास्तव त्यांच्या
बलाचें कार्य कांहींच उपलब्ध होत नाहीं असें पांचव्या कलमावरून दिसतें. (प)
हा बिंदु (पड) या दिशेकडे चालायास यत्न करितो. याचें कारण (ई) ह्मणजे (अ)
पेक्षां (ब) यांत जें आधिक्य आहे त्याणे मा-
त्र ओढिला गेला आहे.

(आ. २)



या वरून प्रायः असा सिद्धांत भास
होतो "जर कोणी एक पदार्थ विषम बलांनी स-
मसूत्रांत ओढिला आहे तर त्या पदार्थावर या
प्रमाणेंच कार्य उत्पन्न होईल ह्मणजे जें बल
दोहों बलांचें अंतर दाखवितें त्या एकट्या ब-
लाने तो पदार्थ ओढिला जातो आणि जा दि-
शेकडे अधिक बल आहे त्या दिशेकडे तें अंतरबल क्रिया करितें."

(७) जा एका बलाची क्रिया दोहों किंवा अधिक बलांचे क्रियेशीं समा-
न आहे त्या एका बलास त्या बलांचें फलमान ह्मणतात. आणि जाची क्रिया अ-

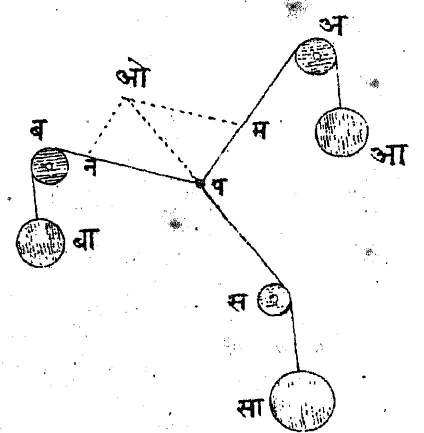
नेका

नेका बलांचा क्रियेशीं समान आहे असें तें एकटें बल जा कृतीने उत्पन्न होतें त्या कृतीस बलांचा संघात ह्मणतात.

(८) जांचीं एकवटलेलीं कार्यें एकट्या बलाचा कार्याशीं समान आहेत अशीं दोन किंवा अधिक बलें जा कृतीने उत्पन्न होतात त्या कृतीस बलांचें भेदन ह्मणतात. आणि जीं दोन किंवा अधिक बलें त्या एका बलाशीं समान आहेत त्यांस अवयव ह्मणतात.

(९) जा उदाहरणांत बलांचा दिशा समसूत्रांत आहेत अशा फारसो प्या उदाहरणाविषयीं विचार केला. आतां जांत एकाच बिंदूवर दोन बलें भिन्न भिन्न दिशेंत क्रिया करितात अशा कठिन विषयाचा विचार करितो. या तिसऱ्या आकृतींत जास तीन दोऱ्या लाविल्या आहेत असा (प) हा बिंदु स्थिर आहे. आणि (पअ) आणि (पब) या दोऱ्या पूर्वी प्रमाणें फिरत्या चक्रांवरून सोडिल्या आहेत. आणि (आ) आणि (बा) हीं कोणीएक दोन वजनें त्या दोऱ्यांस बांधिलीं आहेत. त्या मुळें (प) बिंदु (आ) आणि (बा) या दोहों बलांनीं (पअ) आणि (पब) या दोहों दिशांकडे ओढिला आहे. आतां असें विचारितो कीं कोणतें एकटें बल त्या दोहों बलांचा कार्याशीं समान कार्य उत्पन्न करील त्या दोऱ्यांवर (पम) आणि (पन) इतकीं मोजें घ्यावीं * जांचीं प्रमाणें (आ·बा) या वजनांचा प्रमाणाशीं संबंध ठेवितील ह्मणजे (पम):(पन)::(आ):(बा) जा तकृत्यावर (अब) हीं चक्रें जोडिलीं असें क-

(आ· ३)



* (आ) या वजनाची संख्या जर तीन आहे तर या वजनास जी दोरी धारण करिती तिजवर ति ल्पिलें

ल्पिलें आहे त्यावर (पम ओन) असें समांतररेषचौकोन काढावें. आणि (पओ) ही कर्णरेषा काढावी जें एकटें बल (प ओ) या कर्णरेषेचे दिशेंत क्रिया करीत आहे तें बल (प ओ) हा कर्ण असा समांतररेषचौकोनाची (पम) बाजू किंवा (पन) बाजू याचा प्रमाणांत आहे तसें (आ) किंवा (बा) याचा प्रमाणांत आहे. यास्तव (आ) आणि (बा) या दोहोंचा एकवटलेल्या क्रियेने (प) बिंदूवर जें बल केलें आहे तितकें बल तें एकटें बल (प) बिंदूवर करील. हें ताडून पहा (स) हें तिसरें चक्र असें ठेवावें कीं त्यावरून (पस) ही दोरी ओढिली असतां ती (पओ) या कर्णरेषेचे समसूत्रस्थ दिशेंत होईल. आणि जसा (प ओ) हा कर्ण (पम) किंवा (पन) याचा प्रमाणांत आहे तसें (आ) किंवा (बा) यांचा प्रमाणांत राहणारें (सा) हें वजन त्या दोरीला बांधावें. (प) हा बिंदु अझून स्थिर आहे असें कल्पिलें होतें परंतु आतां तो बिंदु मोकळा सोडून सरकेल तिकडे सरकूं दिला तरींही तो बिंदु आपली जागा धरून स्थिर राहतो. यापासून असें निघतें कीं (सा) हें वजन (आ) आणि (बा) या वजनांचें कार्य प्रतिहत करून त्यांस समतोलनांत ठेवितें. आणि (सा) या वजनासमान कोणीएक दुसरें बल जें (प ओ) या दिशेंत क्रिया करितें त्यासही (सा) वजन पांचव्या कलमाप्रमाणे समतोलनांत ठेविल. कोणीएक बल (सा) याशीं समान असून जें (प ओ) दिशेंत क्रिया करितें तें (आ बा) यांचा बलांची एकवटलेली क्रिया (पम) आणि (पन) या दिशांत आहे तिशीं समान आहे. याजवरून एक मोठा सिद्धांत प्राप्त होतो. तो असा आहे. *

तक्या संख्येचे भाग कल्पावे. आणि तसेच (पब) या दोरीवर (बा) या वजना भाग कल्पावे. आणि त्या भागावरून समांतररेषचौकोन काढून त्याजवर कर्णरेषा काढावी. त्या कर्णरेषेचे तशा जातीचे जितके भाग होतील तितक्या संख्येचें तसें (सा) हें वजन कर्णरेषेचे दिशेंत बांधावें. हें वजन त्या दोहों वजनाचें फलमान आहे. यास्तव त्यांस समतोलनांत राखितें.

* हा सिद्धांत पूर्वे परीक्षेवांचून दुसऱ्या प्रकारें शुद्धपणे ताडिला जाईल परंतु हें ताडणें फार कठिन आहे कारण त्याला शिक्षामालेचा उहापोह केला पाहिजे. तो उहापोह एथे सांगायाला योग्य नाहीं अशा जातीचा आहे.

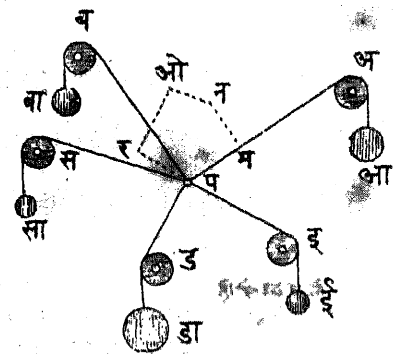
"जीं दोन बलें एकाच बिंदूवर समांतररेषचौकोनाचा दोहों बाजूंचा दिशेंत कि-या करितात आणि ज्यांचीं मानें त्या दोहों बाजूंशीं प्रमाण ठेवितात त्या बलांचीं एकवटलेलीं कार्यें जें कोणीएक बल त्या समांतररेषचौकोनाचा कर्णाचे दिशेंत त्याच बिंदूवर कि-या करितें आणि ज्याचें मान त्याच कर्णाचा प्रमाणांत आहे त्या बलाचे कार्याशीं समान आहेत."

हें एकटें बल (पओ) या कर्ण दिशेंत आहे म्हणून इतर बलांचें फलमान आहे.

(१०) दोहों बलांचें फलमान एकच आहे हें सहज दिसूं येतें कारण जर (सा) या बलाचा मानांत किंवा दिशेंत यत्किंचित अंतर पडलें तर (प) हा बिंदु मोकळा सुटला असतां क्षणमात्रही आपल्या स्थलावर ठरणार नाहीं. तो जेथें समांतररेषचौकोनाची आकृति केली असतां त्या आकृतीचा दोन बाजू आणि कर्ण हीं (आ) (बा) आणि (सा) या बलांशीं प्रमाण ठेवितील अशा आधारावर जाऊन स्थिर होईल.

(११) आतां एकाच बिंदूवर योजिलेल्या तीन किंवा अधिक बलांचा एकवटलेल्या क्रियांचा विचार करितां येईल. या (४) आकृतींत पहा. पूर्वीं प्रमाणें (प) हा बिंदु स्थिर आहे. यास अनेक दोऱ्या लाविल्या आहेत. आणि त्या (अ)(ब)(स)(ड) या चक्रांवरून सोडून त्यांस (आ)(बा)(सा)(डा) हीं वजनें बांधिलीं आहेत.

(आ. ४)



(पअ) या दोरीवर (पम) हें एक मोज घ्यावें आणि ज्यावर ही रचना केली आहे त्या तक्त्यावर (म) पासून एक रेष (पब) या रेषेशीं समांतर काढावी आणि त्या रेषेवर (मन) हें असें मोज घ्यावें कीं (पम) : (मन) :: (आ) : (बा) पुनः (न) पासून एक रेष (पस) हिशीं समांतर काढावी आणि तिचेवर (नओ) हें असें मोज घ्यावें कीं

(मन)

(मन):(नओ)::(बा):(सा) या प्रमाणे (ओर) ही रेघ (पड) हिशीं अशी समांतर काढावी कीं (नओ):(ओर)::(सा):(डा). शेवटीं (र) आणि (प) बिंदु यांस एका सरळरेषेने जोडावे. (रप) या दिशेंत कोणीएक बल क्रिया करीत आहे ज्याचें प्रमाण इतर प्रत्येकाबलांशीं असें आहे कीं जसें (पर) या रेघेचें प्रमाण बहुकोण आकृतींतल्या त्या त्या प्रत्येकाबळाचा समांतर बाजूशीं आहे तें बल (प) या स्थिर बिंदूवर आकर्षण उत्पन्न करितें. तें आकर्षण (आ)(बा)(सा)(डा) या बलांचा एकवटलेल्या क्रियेशीं तुल्य आहे. ज्या रीतीने मागल्या प्रकारांत ठरविलें होतें तसें हेंही ठरविलें जाईल. (प) या बिंदूस एक दोरी जोडून (इ) या चक्रावरून सोडावी. ती अशी कीं (पइ) ही दोरी (पर) या रेषेचा समसूत्रांत होईल आणि तिला (ई) हें एक वजन लावावें. तें वजन (आबा साडा) या वजनांशीं असें प्रमाण ठेवील कीं जसें (पर) ही रेघ बहुकोण आकृतींतल्या त्या त्या दोऱ्यांचे समांतर बाजूशीं प्रमाण ठेविती. आतां जरी (प) हा बिंदु तक्त्यावरून मोकळा सोडिला तरी तो आपली जागा धरून स्थिर राहील. कारण (ई) हें बल (पर) याचा समोरचे (पइ) या दिशेंत आहे तें (आबा साडा) यांचे बलांचें एकवटलेल्या कार्याशीं समता पावून त्यांस प्रतिहत करितें. आणि दुसरें कोणीएक (ई) याशीं समान बल आहे जें त्याचे समोरचे (पर) या दिशेंत क्रिया करितें त्याचा कार्यासही (ई) हें बल पांचव्या कलमाप्रमाणे प्रतिहत करितें. यावरून असें बल (आबा साडा) यांचा एकवटलेल्या क्रियेशीं समान आहे. यास्तव तें त्यांचें फलमान आहे. यापासून हा साधारण सिद्धांत प्राप्त होतो.

"जर पुष्कळ बलें एकाच बिंदूवर क्रिया करितात ज्यांचा दिशा बहुकोणआकृतीचा एका बाजूवांचून इतर बाजूंशीं अनुक्रमेकरून समांतर आणि प्रमाणांत आहेत तर जें कोणीएक बल वगळलेल्या बाजूचे दिशेंत आणि प्रमाणांत आहे तें इतर बलांचें फलमान होईल."

फलमान एकच आहे असें पहिल्या प्रकाराप्रमाणे ताडिलें जाईल. जर (पइ) या दोरीचे दिशेंत किंवा (ई) या वजनाचा मानांत किंवा दोहोंत कांहीं भेद पडला तर

(प)

(प) हा बिंदु मोकळा सुटला असतां आपल्या आग्यावर क्षण मात्रही ठरणार नाहीं. बहुकोण आकृतीचा बाजू आपापल्या समांतर दोऱ्यांस लाविलेल्या वजनांशीं प्रमाण ठेवितात अशा आधारावर जाऊन स्थिर होईल.

(१२) एथपर्यंत जीं बलें बिंदूवर योजिलीं तीं एकाच सपाटीवर आहेत असें कल्पिलें होतें परंतु तसें व्हावयास एकच सपाटी असावी असें नाहीं जरीं तीं सर्व बलें वेगळाल्या सपाटीवर क्रिया करितात तरीं तसें व्हावयास तींच कारणें होतात.

(१३) मागील सर्व प्रकारांत जो उहापोह केला त्यावरून हें उघड होईल ह्मणजे बहुकोण आकृतीची जी जी बाजू जा जा बलाचा दिशेशीं समांतर आहे तिचा तिचा प्रमाणांत असणारीं अशीं कितीहीं बलें एकाच बिंदूवर क्रिया करितात आणि अनुक्रमाने घेतलेल्या आपापल्या बाजूचे दिशेंत असतात तर तो बिंदु स्थिर राखिला जाईल आणि तीं बलें समतोलनांत होऊन एकमेकाचा कार्याला प्रतिहत करितील.

कोणी एका त्रिकोण किंवा बहुकोणआकृतीची कोणी एक बाजू इतर बाजूंचा बेरीजेहून सर्वदा उणी असती ह्मणून वेगळाल्या दिशांत क्रिया करितात जीं पुष्कळ बलें त्यापेक्षां जें आपल्या योग्य दिशेंत क्रिया करितें असें एकलेंच बल फार चांगलें आहे. अशा एकल्या बलाने सर्वदा थोडक्यांत शिल्पकार्य उत्पन्न होतें.

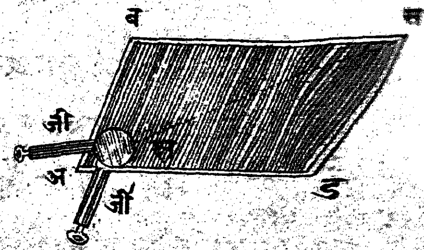
(१४) बलांचा किंवा आकर्षणाचा संघाताविषयीं जें ठरविलें तें सर्व गतींचा संघातावरही लागतें. कोणी एका पदार्थावर दोन्हीं दिशांकडून दोन प्रेरणा निर्निराळ्या कालांत योजिल्या असतां समांतररेषचौकोनाचा आपआपल्या दिशेचा बाजूवर शेवटापर्यंत तो पदार्थ कालाचा समसंख्येंत जातो अशा त्या दोन्हीं प्रेरणा एका कालांत त्या पदार्थावर योजिल्या असतां तो पदार्थ तितक्याच संख्येचा कालांत त्या समांतररेषचौकोनाचा कर्णावर शेवटापर्यंत जाईल.

याची

याची परीक्षा अशी आहे.

सारखा ठेविलेला एक (अ ब स ड) हा चौरंग आहे (५ आकृति) त्याचें रूप समांतररेषचौकोनाचें आहे. त्याचे कडेवर लहान कठडा. त्यावरून गोळा खालीं नपडे असा लावावा. त्याचा एका कोनावर दोहों बाजूंस (जी जी) या दोन नळ्या लावाव्या आणि त्यांचे दट्टे ओढून सोडिले असतां (क्ष) या गोळ्यावर धक्का बसेल अशी कांहीं त्यांत कळ करावी. (जी) या नळीचा दट्ट्याचा धक्का (क्ष) या गोळ्यास लागला असतां तो गोळा (अब) या बाजूवर कांहीं एका कालांत जाईल आणि (जी) या नळीचा दट्ट्याचा धक्का त्या गोळ्यास लागला असतां तो तितक्याच कालांत (अड) या बाजूवर जाईल. आतां जर दोन्हीं नळ्यांचे धक्के एकाच क्षणीं (क्ष) या गोळ्यावर बसले तर तो (अस) या कर्णावर जाईल ह्मणजे एकेका नळीचा धक्क्यानें निरनिराळ्या बाजूंवर जितक्या कालांत गेला तितक्याच कालांत (स) या पर्यंत जाईल. (अब) आणि (अड) या दोहों बाजूंवर समान कालांत (क्ष) हा गोळा चालविण्याविषयीं त्या कळांचीं बळें बाजूंचा लांबीचा प्रमाणांत असावीं. अशा चौरंगाचें रूप बहुत करून चौरस करितात ह्मणून नळ्यांचीं बळेंही समान करितात.

(आ ५)



या प्रकारें कोणा एका बहुकोणआकृतीचा बाजूंशीं समांतर आणि प्रमाणांत अशा ज्या अनेक प्रेरणा एका पदार्थावर निरनिराळ्या कालांत योजिल्या असतां त्या प्रेरणा बहुकोणआकृतीची शेवटली बाजू वगळून इतर बाजू अनुक्रमानें घेऊन त्यांचा समांतर दिशेंत त्या त्या बाजूंचा प्रमाणाचा वेगांनी त्या पदार्थास चालवितील जर त्या सर्व प्रेरणा त्याच पदार्थावर एकाच क्षणीं योजिल्या आहेत तर तो पदार्थ वगळलेल्या शेवटल्या बाजूचे दिशेंत तिचा प्रमाणाचा वेगानें

ने जाईल.

ज्यांस सर्व लोक जाणतात आणि जीं गतींच्या संघाताचीं आणि भेदनाचीं उदाहरणें होतात अशीं कार्यें बहुत आहेत. रस्त्याच्या एका बाजूनें चालत असतां दुसऱ्या बाजूवर एक दूर स्थल आहे तेथे जावयाची इच्छा असतां कर्णरेषेनें मार्ग अतिक्रमून त्या स्थलीं जावें ही रीति चांगली आहे परंतु रस्त्याच्या मधून चालणें जितकें कमी पडेल तितकें करावें असें मनांत असलें तर प्रथम आडव्या लंब रेषेनें मधला रस्ता अतिक्रमून दुसऱ्या बाजूवर जाऊन तेथून नीट विवक्षित स्थलाकडे जावें. यांत कर्णरेषेच्या गतीचें दोहों अवयवांनी भेदन मात्र दाखविलें. स्पष्टार्थ समांतररेषचौकोनाचा दोन बाजू या गतीचे अवयव आहेत.

अणखी नदींतून एक होडी नीट आडवी चालविली असतां जर पाणी स्थिर आहे तर ती होडी अलीकडल्या कडेवर जो लंब आहे त्या लंबरेषेनें नीट पलीकडे जाईल परंतु जर पाणी वाहत असेल तर ती होडी वाहण्याचे योगानें कडेच्या समांतर रेषेंत आणि वल्ह्याच्या योगानें कडेहून लंबरेषेंत अशी दोहों बलांनी लोटली जाईल. अशी लोटत जात असतां ती होडी कर्णरेषेंत चालली जाईल ह्मणजे जेथून निघाली त्याचे नीट समोरच्या स्थलीं न जातां कांहीं खालचे स्थलीं जाईल असें फलित होतें. यावरून स्पष्ट आहे कीं ती होडी कोणी एका समांतररेषचौकोनाच्या कर्ण रेषेंत चालती. त्या चौकोनाची एक बाजू होडी निघालेल्या स्थलापासून त्या नदीचे कडेवर पार लंब केलेली सरल रेषा आहे आणि दुसरी बाजू होडी निघाल्या स्थलापासून पलीकडे जितक्या कालांत गेली तितक्या कालांत प्रवाह होडीसहवर्तमान जिथवर खालीं गेला तितक्या मोजाची त्याच कडेवर आहे. पहिलें उदाहरण असें गतीचे भेदनाचें तसें हें गतीचे संघाताचें आहे.

रंगांगणांत जा साहजिकपणानें अश्वक्रीडा दाखविल्या जातात तो साहजिकपणा याच कारणावरून गणला जाईल. तो असा स्वारासहवर्तमान घोडा मोठ्या वेगानें चालत आहे. तशा अवस्थेंत तो स्वार जिनावरून नीट वर उडाला असतां

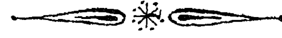
सतां खालून घोडा निघून जावा तो आत नाहीं आणि तो स्वारही उतरूं लागला अ-
सतां ज्या स्थळीं जिनापासून उडला त्या स्थळीं नीट भुमीवर पडावा तोही पडत नाहीं.
हें मोठें आश्चर्य वाटतें. परंतु याविषयीं असा विचार केला पाहिजे. जेव्हां स्वार
जिनापासून सुटतो तेव्हां घोड्याचे आंगांत जितका वेग आहे तितकाच वेग त्या
स्वाराचे शरीरांत शिरतो. आणि जी त्याणे नीट वर उडी मारिली ती त्याचा आं-
गांतल्या वेगास किंचित्‌ही उणा करीत नाहीं. त्यामुळें तो जिनावरून वर उडतअ-
सतां घोड्याचे वेगाशीं समान जाऊं लागतो आणि जिनावर येई तोंपर्यंत तसाच पु-
ढें चालतो. एथे स्वाराचें शरीर समांतररेषचौकोनाची कर्णरेषा निर्माण करितें. या
चौकोनाची एक बाजू घोड्याचा गतीचे दिशेंत आहे आणि दुसरी बाजू स्वार उडी
मारितो त्या नीट वरचा दिशेंत आहे.

जसें भुमीपासून उडून आपलें शरीर वलयांतून पलीकडे न्यावें तसें जि-
नापासून उडून वलयांतून पार उडी मारून फिरून येऊन जिनावर बसावें असें
कोणी अडाणी स्वार करीत असतां तो जिनावर नयेतां घोड्याचे पुढें किंवा त्याचे
डोईवर अथवा मानेवर पडेल. कारण त्याचे शरीरांत घोड्याचा वेगापेक्षां वेग
अधिक आहे. तो असा घोड्याचे वेगानें आंगीं प्राप्त झालेला एक वेग आणि ज्याचे
योगाने तो आपलें शरीर पुढें लोटितो असा आपल्या स्वकीय यत्नाचा दुसरा वेग.
हे दोन मिळून वेग अधिक होतो. यास्तव तो घोड्याचे वेगापेक्षां अधिक वेगाने
पुढें जातो. ही क्रिया करायास जिनापासून वलयाचा खालचे बाजूवर पाय येत
इतकी उंच वर नीट उडी मारावी ह्मणजे स्वकीय यत्नाचा वेगावांचून जो घो-
ड्याचे वेगाने आंगीं आलेला वेग आहे तितक्यानेंच त्या स्वाराचें शरीर वलयांतू-
न पलीकडे जाऊन खालीं उतरताना पुनः जिनावर पडेल. हीं सर्व गतीचा संघा-
ताचीं स्पष्ट उदाहरणें आहेत.

भाग ३

On the force of gravity

गुरुत्वबलाविषयीं



(१९) यद्यपि गुरुत्वबल स्वतः आदिचालक किंवा शिल्पसाधन आहे असें यथार्थ पाहण्यांत येत नाहीं तथापि अनेक आदिचालकें उत्पन्न करायास आणि त्यांस कर्तृत्व द्यायास गुरुत्वबल साधन आहे. यास्तव त्याचे क्रियेचे जे नियम आहेत त्या नियमांचें विवरण अगत्य केलें पाहिजे. तेणेकरून कित्येका मुख्य आदिचालकांची साधनता समजायाजोगें स्पष्ट होतें.

जा पृथ्वीवर आपण राहतों ती अनात्म्याचा पिंड आहे. ती केवल गोलरूप नाहीं कांहीं त्यासारिखी आहे. तिचा व्यास सुमारें ८००० मैल आहे. या महापिंडाचा पृष्ठाजवळ जे लहान लहान सर्व पदार्थ आहेत त्यांस आपल्या केंद्राकडे आकर्षायाचा गुण या पिंडाचे आंगीं आहे. त्यामुळें जर ते पदार्थ वर मोकळे आहेत आणि मध्यें कांहीं प्रतिबंध नाहीं तर ते त्या गोलाचे केंद्राकडे सरल रेषांत यावयास गति धारण करितील आणि जोंपर्यंत पृष्ठावर पोंहचत तोंपर्यंत तसेच चालतील. जा पृष्ठभागावर ते पदार्थ येऊन मिळतात तो पृष्ठभाग जर घट्ट आहे किंवा पातळ असून पडणाऱ्या पदार्थापेक्षां जास्ती वजनदार आहे तर त्या पदार्थांचें पुढें केंद्राभिमुख गमन अटकलें जातें परंतु प्रतिबंधक भागास ते पदार्थ बलानें चेपितात. यावरून केंद्राभिमुख आकर्षण आहे हें स्पष्ट होतें. ते पदार्थ केंद्राभिमुखगमनानें पृष्ठावर येऊन मिळाले असें कल्पिलें. आतां जर कदाचित् तें पृष्ठ समुद्रासारिखें पातळ असेल आणि ते पदार्थ त्याहून जास्ती वजनदार असतील तर जोंपर्यंत पातळ असून आपल्यापेक्षां अधिक जड किंवा कठिन असें पृष्ठ मिळेल तोंपर्यंत ते पदार्थ तसेच पाण्यामधून केंद्राभिमुख चालतील. जा सर्व

रेषा

रेषा गोलाचे बाहेरच्या बिंदूपासून केंद्राकडे आहेत त्यां सर्व त्याचा पृष्ठावर लंब आहेत असें स्पष्ट आहे. यास्तव जे पदार्थ पृथ्वीचा केंद्राकडे तिचा आकर्षणशक्तीने आकर्षिले आहेत ते तिचा पृष्ठावर जा लंब रेषा आहेत त्यांत चालतील. आणि जेव्हां त्यांचे गमनास त्या पृष्ठाने प्रतिबंध केला असें होईल तेव्हां जितक्या बलाने ते केंद्राकडे आकर्षिले आहेत तितक्या बलाने त्या पृष्ठास ते लंब रेषांत चेपितील.

जे पदार्थ पृथ्वीचा जवळ आहेत त्यांवर जें पृथ्वीचें आकर्षण होत असतें त्या आकर्षणास "पार्थिव गुरुत्व" (Terrestrial gravity) ह्मणतात. आणि ते पदार्थ समान तलास जा बलाने केंद्राकडे चेपितात त्या बलास त्या पदार्थांचा भार (weight) किंवा वजन ह्मणतात.

पडणाऱ्या पदार्थांचीं आणि भाराने उत्पन्न झालेल्या चेपणाचीं जीं सर्व साधारण कार्यें आहेत त्यांचीं सर्व कारणें वर कथन केलीं आहेत. हा आकर्षणगुण केवल पृथ्वीचेच आंगीं आहे असें नाहीं तर जे सर्व अनात्म पदार्थ आहेत त्या पदार्थांचें परिमाण आकार किंवा स्थिति हीं कशीहीं असोत तथापि त्या पदार्थांचा आंगींही हा गुण सर्व साधारण आहे. लोहचुंबकाचें चुंबकत्व आणि पदार्थविशेषाचा आंगीं जे दुसरे आकर्षणत्वादि गुण आहेत ते या गुरुत्वबलाहून वेगळे आहेत. जर पृथ्वी एक मोठा लोहचुंबक असती तर जा पदार्थविशेषांस लोहचुंबक आकर्षितो त्यांचे आंगीं मात्र भार उत्पन्न होता किंवा तेच मात्र मोकळे असतां पृष्ठावर येऊन पडते इतर पदार्थ कोणत्याही स्थितींत जसे ठेवावे तसेच राहते व जसे खालीं पडतात तसे वरही जाते परंतु प्रत्येक अनात्म पदार्थांवर गुरुत्वाकर्षण लागू आहे. त्यांत एवढा मात्र विशेष जसा जसा पृथ्वीचा आंगीं द्रव्यांश असेल तदनुरूप पदार्थांवर आकर्षण लागू होतें. स्पष्टार्थ जर पृथ्वीचा द्रव्यांश दुप्पट असला तर ती जवळचे पदार्थांवर आकर्षणाचा यत्न दुप्पट करिती त्या मुळें त्या सर्व पदार्थांचे भारही दुप्पट होतात.

जर

जर तो द्रव्यांश तिप्पट असला तर सर्व पदार्थांचे भारही तिप्पट होतात. असें उत्तरोत्तर जाणावें. यास्तव प्रायः "जें आकर्षण पृथ्वी आपल्या शेजारच्या पदार्थांवर करिती तें तिचा द्रव्यांशाप्रमाणें होतें."

गुरुत्वाकर्षण सर्व अनात्म पदार्थांचा आंगीं साधरण आहे असें सांगीतलें. यावरून कोणी असें विचारील कीं पृथ्वीचा पृष्ठाजवळ ठेविलेले सर्व पदार्थ पृथ्वीला आपलेकडे कां ओढीत नाहींत आणि जसा कोणीएक पदार्थ पृथ्वीचा पृष्ठापासून कितीही लांबून मोकळा सोडिला असतां पृथ्वीचा आकर्षणेंकरून ओढिला होत्साता लंब रेषेने पृथ्वीकडे खालीं येतो तसा पदार्थ पृथ्वीस आपलेकडे आकर्षित असतां तो पृष्ठभाग पदार्थाचा आकर्षणाने आकर्षिला होत्साता त्या पदार्थाकडे वर कां जात नाहीं आणि असें होत असतें तर पृथ्वीचा पृष्ठभाग आणि तो पदार्थ यांची कोणीएका मध्यस्थलावर गांठ पडावी ती कां पडत नाहीं याचें उत्तर असेंच कार्य होत असतें खरें पृथ्वीचा पृष्ठभाग खालीं पडणाऱ्या पदार्थाकडे ओढिला जातो आणि तो पदार्थ पृथ्वीचा द्रव्यांशास आपलेकडे ओढितो. तो असा कीं जितक्या बलानें पृथ्वी त्यास ओढीत असती तितक्याच बलानें तो पदार्थ पृथ्वीचा द्रव्यांशास ओढितो याजवरून कोणी विचारील कीं त्या पदार्थास मिळायाला पृथ्वीचें तदभिमुख त्वरित गमन कां भासत नाहीं हें उघड करायास विस्तारेंकरून सांगीतलें पाहिजे.

(१६) जर (अ) आणि (ब) हे दोन पदार्थ समान वेगांनी चालत आहेत. आणि त्यांचे द्रव्यांश ह्मणजे पदार्थारंभकअवयवांचीं परिमाणें समान आहेत तर ज्या बलांनी ते चालतात तीं बलेंही समान होतील अन्यथा समान होणार नाहींत. जर (अ) याचा द्रव्यांश (ब.) याचा द्रव्यांशापेक्षां अधिक असला तर त्याचें बलही त्याप्रमाणे अधिक होईल. आणि ते पदार्थ किती बलांनी आपल्या प्रतिबंधकावर थडकतात. हें पुढल्या विचारावरून

वरून स्पष्ट होईल ह्मणजे (ब) पदार्थ बंदुकेची गोळी असली. आणि (अ) पदार्थ गोळीपेक्षां शंभरपट अधिक वजनाचा तोफेचा गोळा असला आणि तीं दोन्हीं समान वेगांनी सोडिलीं तर (ब) आपल्या प्रतिबंधकावर जितक्या बलाने थडकेल त्यापेक्षां (अ) शंभरपट बलाने थडकेल. तेव्हां प्रायः " जा वेगांनी पदार्थ चालतात ते वेग जर समान आहेत तर त्यांचीं बलें आपापल्या द्रव्यांशाचीं ह्मणजे पदार्थारंभकअवयवाचीं जितकीं परिमाणें असतील त्याप्रमाणें होतील."

आतां (अ) आणि (ब) या दोन्हीं पदार्थांचे द्रव्यांश समान आहेत परंतु त्यांचे वेग समान नाहींत ह्मणजे ते समान कालांत समान प्रदेश क्रमित नाहींत असें कल्पावें. एका सेकंडांत * जितका प्रदेश (अ) हा पदार्थ क्रमितो त्याचें नांव (ई) आणि तितक्याच कालांत जो प्रदेश (ब) या पदार्थाने क्रमिला त्याचें नाव (बी) या प्रदेशांस पदार्थांचीं वेगमानें ह्मणतात. ते दोन्हीं समान पदार्थ वेगळाल्या वेगांनी चालत असतात त्यांचीं बलेंही वेगळालीं असतात. त्यावरून त्या समान पदार्थांमधून ज्याचा वेग अधिक आहे त्याचें बलही अधिक आहे तें पुनः वेगाच्या प्रमाणानुरूप अधिक आहे असें स्पष्ट होतें. आणि दोन सारिख्या गोळ्या एकाच बंदुकेपासून भिन्न कालांत सुटल्या आणि तींतले दारूचे बार जर अधिक उणे आहे तर जी गोळी अधिक बाराने सुटली ती त्या प्रमाणानुरूप अधिक बलाने लक्ष्यावर आऊन थडकेल. एथे गोळ्यांचे गतींत एकीला दुसरीहून वेग अधिक एवढाच भेद आहे सारांश " समद्रव्यांशपदार्थ गतिमंत असतां त्यांचीं बलें त्यांचे वेगांचे प्रमाणांत आहेत " असें सिद्ध होतें.

(१७) पदार्थ समान नसून समान वेगांनी चालिले आहेत आणि पदार्थ समान असून विषम वेगांनी चालिले आहेत अशा दोहों प्रकारांविषयीं वि-

---

* सेकंड ह्मणजे अडीच विपळें.

चार करितां पहिल्या प्रकारांत बलें द्रव्यांशाचे प्रमाणांत आणि दुसऱ्यांत वेगांचे प्रमाणांत आहेत असें सिद्ध झालें. आतां विषमद्रव्यांशपदार्थ विषम वेगांनीं चालिले तर बलांचा मुकाबला करण्याविषयीं वेग आणि द्रव्यांश हे दोन्हीं गणनेंत आणावे लागतात. पदार्थांचा द्रव्यांश किंवा वेग किंवा दोन्हींही अधिक उणे केल्याने त्या पदार्थाचें गतिबल अधिक उणें करितां येईल. द्रव्यांशाचे संख्येस वेगाचे संख्येने गुणलें असतां जें गुणनफल येतें तें गतिबलास दाखवितें. (अ) आणि (ब) या दोहों पदार्थांचे द्रव्यांश (८) आणि (५) या संख्यांचे प्रमाणांत आहेत आणि त्या पदार्थांचे वेग (७) आणि (३) या संख्यांचे प्रमाणांत आहेत तर (५) आणि (३) यांचा गुणाकारास जसा (८) आणि (७) यांचा गुणाकार आहे तशीं त्यांचीं गतिबलें होतील ह्मणजे जसे (१५) यांस (५६) आहेत. याजवरून (अ) याचा द्रव्यांश (ब) यांचा द्रव्यांशाशीं किंवा (अ) याचा वेग (ब) याचा वेगाशीं जितकें प्रमाण ठेवितो त्याहून फार अधिक (अ) याचें बल (ब) याचा बलाशीं प्रमाण ठेवितें असें या प्रकारांत दिसतें. याचें कारण हें आहे द्रव्यांश आणि वेग हे एकत्र मिळून (अ) यास अधिक गतिबल देतात. याजवरून "पदार्थांचीं गतिबलें त्यांचे द्रव्यांश आणि वेग यांचा गुणाकाराचा प्रमाणांत आहेत" हें सिद्ध होतें.

(१८) पदार्थाचें गतिबल द्रव्यांश आणि वेग या दोहोंचा आश्रयाने राहतें. यास्तव पदार्थाचा वेग कोणीएका प्रमाणाने अधिक करून द्रव्यांश त्याच प्रमाणाने उणा केला असतां त्याचें गतिबल तितकेंच राहतें कारण त्या पदार्थाला वेग अधिक केल्याने जितकें बल प्राप्त होतें तितकेंच बल द्रव्यांश उणा केल्याने उणें होतें. त्याच प्रकारें द्रव्यांश अधिक करून वेग उणा केला असतां त्याचें गतिबल तितकेंच राहतें कारण जितकें बल द्रव्यांश अधिक केल्याने त्यास प्राप्त होतें तितकेंच बल वेग उणा केल्यानें उणें होतें.

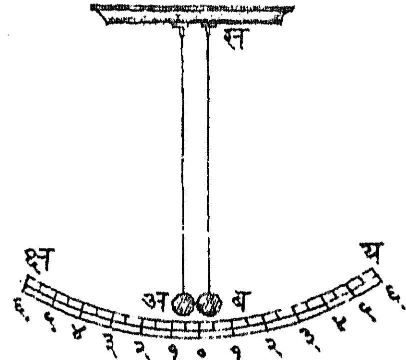
(१९) गतिमंत पदार्थांचा बलांविषयीं जे सिद्धांत सांगितले ते केवळ ऊहापोहावरूनच योजिले आहेत असें नाहीं. त्यांची सहजपणाने प्रत्य

क्ष

क्ष परीक्षाही केली आती.

(क्षय) या चिन्हित धनुष्याचा (स) या केंद्रास दोन दोऱ्या लावाव्या आणि मातीचे किंवा जाचे आंगीं स्थितिस्थापकत्व नाहीं अशा पदार्थांचे दोन गोळे घेऊन त्या धनुष्याचे मध्यभागीं लोंबते एकाशीं एक लागतील असे त्या दोऱ्यांस बांधावे. प्रथम ते दोन्हीं गोळे समान आहेत असें कल्पावें आणि ते दोहों हातांनी धरून धनुष्याचे मध्यापासून दोहों अग्राकडे नेऊन विवक्षित भागांपासून (०) या मध्यभागापर्यंत यावयास सोडिले असतां ते जेव्हां येऊन मिळतील तेव्हां जितक्या धनुष्याचा भागांवरून खालीं आले तितक्या प्रमाणाचे वेग त्यांचे आंगीं येतात. * आतां ते समान गोळे धनुष्याचे दोहों अग्रांकडून समान भागांवरून सोडिले आहेत ह्मणून समान वेगांनी परस्परांशीं थडकतात आणि थडकल्यानंतर तसेच स्थिर राहतात कारण ते एकमेकांचीं बलें प्रतिहत करितात. समान पदार्थांस समान वेग असतां त्यांचीं बलेंही समान आहेत असें ही परीक्षा ताडून दाखविती जर त्यांचीं बलें समान नसतीं तर ते भेटलेले प-

(आ. ६)



---

* वास्तविक पाहिलें असतां ते वेग धनुष्याचे ज्याचे प्रमाणांत आहे परंतु जें धनुष्य एथें घेतलें आहे. तें अर्धव्यासाचे मुकाबल्याने पाहिलें असतां तें फार लहान आहे. यास्तव ते वेग ज्याचे प्रमाणाचे फार जवळ आहेत. आणि ते दोन्हीं गोळे धनुष्याचे मध्यापासून कितीही दूर नेऊन सोडिले असतां ते मध्यभागावर समान कालांत मिळतील हा एक या यंत्राचेठायीं दुसरा गुण आहे परंतु हा गुण पहिल्या गुणाप्रमाणें अर्धव्यासावरून पाहिलें असतां जेव्हां हें धनुष्य फार लहान आहे तेव्हांच हा गुण प्रत्ययास येतो.

दार्थ थडकल्यानंतर ज्याचें बल अधिक आहे त्याचे समोरचे दिशेंत दोन्हीं जाते.

(२०) (आकृति ६) या आकृतींत (अ) गोळा (ब) गोळ्यापेक्षां वजनांत दुप्पट आहे असें कल्पावें आणि (अ) गोळा (क्ष) दिशेकडे (३) भागापर्यंत नेला आणि (ब) गोळा (य) दिशेकडे (६) भागापर्यंत नेला आणि त्यांस त्या स्थलांपासून मध्याकडे खालीं यावयास सोडिले तर त्यांचे वेग जसे (६) यास (३) असे होतील परंतु त्यांचे द्रव्यांश (१) यास (२) असे आहेत ह्मणून त्यांचीं बलें अशींच होतात (१×६) यास (२×३) ह्मणजे जसे (६) यास (६) किंवा समान. यावरून ते थडकल्यानंतर स्थिर राहतील असें दिसतें कारण समान आणि समोरासमोरचीं बलें एकमेकास मोडीत असतात. या प्रकारें ज्यांचीं वजनें (३) यांस (२) अशीं आहेत असे गोळे (४) आणि (६) इतक्या भागांपासून जर सुटले तर त्यांचीं बलें (३×४) यांस जसे (२×६) किंवा (१२) यास (१२) ह्मणजे समान होतील आणि थडकल्यानंतर ते पदार्थ स्थिर राहतील.

परीक्षेची रीति कशीही बदलली तरीं जे अंक द्रव्यांश आणि वेग यांस दाखवितात त्यांचा गुणाकार सर्वदां त्याचा गतिबलास याच प्रकारें दाखवील.

(२१) पृथ्वी आणि तिचा पृष्ठाजवळचा पदार्थ यांविषयीं फिरून सांगतो पृथ्वी आणि पदार्थ समान बलांनीं एकमेकास आकर्षितात परंतु आकर्षणमूलक परस्परांचें सान्निध्य व्हावयाविषयीं असें आहे पडणाऱ्या पदार्थाचा द्रव्यांशापेक्षां जितके पट पृथ्वीचा द्रव्यांश अधिक आहे तितके पट वेग पृथ्वीचे आंगीं कमी असतो आणि जे पदार्थ अशा अवस्थेंत ठेविनां येतात ते पृथ्वीहून अनंत पट लहान आहेत यास्तव पडणाऱ्या पदार्थास मिळवून घ्यावयासाठीं जितक्या प्रदेशांतून पृथ्वी त्या पदार्थाकडे जाती तो

प्रदेश

प्रदेश जितक्या प्रदेशांतून ते पदार्थ खालीं पडतात त्यापेक्षां अनंत पट कमी असतो.

आतां शेवटलें एक दुर्घट उदाहरण दाखवितो. ज्याचा व्यास एक मैलाचा दशांश इतका आहे असा एक मातीचा गोळा पृथ्वीच्या पृष्ठापासून मैलाचा दशांश इतका उंच वर ठेविला असें कल्पावें. आतां किती प्रदेश क्रमून पृथ्वी त्याला भेटायाला जाती असा विचार करावा. पृथ्वीच्या व्यास सुमारें (८०००) मैल आहे आणि " गोळे एकमेकांशीं आपआपल्या व्यासांच्या घनाचे प्रमाणांत आहेत " ह्मणून पृथ्वीच्या द्रव्यांश त्या गोळ्याचा द्रव्यांशाशीं असें प्रमाण ठेविल कीं (५१२००० ००० ००० ०००) इतकी संख्या अशी (१) यास ह्मणजे एका मैलाचे दशांशाचे पांच जलधी एक शंकु दोन महापद्मे भाग केले असतां त्यांतला एक भाग ज्या प्रदेशास आक्रमून पृथ्वी पदार्थाकडे जाती तो प्रदेश आहे. एका मैलाचे दशांशाच्या इंचा (६४००) इंचांहून कांहीं कमी इंचा आहेत. आतां चौसष्टशें इंचांचे पांच जलधी एक शंकु दोन महापद्मे भाग केले तर त्यांतील प्रत्येक भाग एका एका इंचेच्या आठ कोटिवा हिंसा आहे. यास्तव ज्या प्रकारांत अशी कल्पना होती तेथे इतक्या प्रदेशाहून कांहीं कमी प्रदेश पृथ्वी त्या पदार्थाकडे चालेल.

यावरून पदार्थांचा पतनाविषयीं पृथ्वी केवळ स्थिर आहे असें जाणावें.

(२२) पूर्वीं असें सांगीतलें आहे किं पदार्थ आपआपल्या द्रव्यांशाचे मानाप्रमाणें परस्परांस आकर्षितात. यावरून पृथ्वी भिन्नभिन्न जातीचे पदार्थांस भिन्नभिन्न बलांनी आकर्षिती. जेवढा शिशाचा तुकडा तेवढाच एक भेंडाचा तुकडा घेतला असतां शिशाचे तुकड्यांत भेंडाचा तुकड्यापेक्षां द्रव्यांशाचें मान फार अधिक आहे ह्मणून पृथ्वी शिशाच्या तुकड्यास द्रव्यांशाप्रमाणें अधिक बलाने आकर्षिती. याजवरून त्याचें वजन अधिक आहे असें सि-

द्ध

द्ध होतें. या कारणास्तव पदार्थांची जाती किंवा गुण कसेही असोत तथापि पदार्थांत द्रव्यांशाचें मान आहे त्याचा बोध होण्याविषयीं भार किंवा वजन यथायोग्य घेतलें आहे.

(२३) पदार्थांचे द्रव्यांशाचें मान केवल परस्परांचे आकर्षणाचा मानास दाखविते असें नाहीं तर परस्परांचें अंतरही त्याविषयीं कारण आहे. जसें जसें पदार्थांचें अंतर अधिक असतें तसें तसें आकर्षणाचें बल कमी होतें तें पुनः सामान्य प्रमाण सोडून अधिक कमी होतें. याचें उदाहरण कोणीएक पदार्थ पृथ्वीचा केंद्रापासून (४०००) मैलांचा अंतराने ह्मणजे तिचा पृष्ठाशीं सल्लग्न असा आहे आणि तो कितीएका बलाने तिचा केंद्राकडे आकर्षिला आहे. आतां केंद्रापासून दुप्पट अंतराने ह्मणजे पृष्ठापासून (४०००) मैलांवर ठेविला असतां पूर्व बलाचे चतुर्थांशाने मात्र आकर्षिला जाईल आणि त्याचें वजन तीन चतुर्थांश कमी होईल.

हा विषय पाहिला असतां या विद्येचा अन्य प्रकरणांतला आहे ह्मणून याविषयीं आतां अणखी विचार होणार नाहीं पदार्थ पृथ्वीचा पृष्ठावर असतां किंवा पृष्ठ आणि पदार्थ याचा अंतरापासून जो गुरुत्वबलामध्यें भेद उत्पन्न होत असतो तो अगदी कांहीं नाहीं सारिखा आहे इतके जवळ असतां त्यांवर जा गति आहेत त्या गतींकडे ग्रंथ पाहणारानें लक्ष्य ठेवावें. अशा गतींचा विचार करीत असतां गुरुत्वबल एक सारिखेंच आहे असें मानितो. यास्तव कोणताही पदार्थ कोणत्याही स्थितींत असला तरीं त्यास एक सारिख्या मानानेंच आकर्षण लागतें तें पुनः समान पदार्थांस समानतेने लागतें.

(२४) पृथ्वी गोलाकार किंवा गोलासारिखी अशी आहे. ह्मणून जा रेषांत आकर्षणक्रिया होत असती त्या सर्व रेषा पृथ्वीचा केंद्राकडे जात असतात. आणि जांबून पडणारे पदार्थ खालीं येतात अशा जा रेषा पृथ्वीचा निनिराळ्या भागांवर आहेत त्या रेषा समांतर नाहींत. यास्तव त्या पुढें केंद्रापर्यंत

यींत गेल्या असतां एकमेकींस छेदितात. तथापि पृथ्वीचा पृष्ठावरील जवळ जवळ जाग्यांत जे पदार्थ आहेत त्यांवर जा रेषांत गुरुत्वक्रिया करितें त्या सर्व रेषा समांतर आहेत आणि त्या सर्व एका समान तळावर लंब आहेत. असें गुरुत्वाचे क्रियेविषयीं मानिलें असतां यांत सूक्ष्म अंतराची चूक दिसण्यांत येणार नाहीं. एका मैलाइतकें जरीं मोठें अंतर असलें तरीं समांतरतेंत एका कलेहून कांहीं कमी अशीमात्र चूक उत्पन्न होईल ह्मणजे एका अंशाचे साठाव्या हिंशाहूनही कमी होईल.

(२५) कोणीएक पदार्थ धक्क्याचे योगाने गतिमंत केला आणि त्यास वायु किंवा घर्षण इत्यादि प्रतिरोध नसला तर जितक्या वेगाने गतीस आरंभ झाला तितक्याच एकासारिख्या वेगाने त्याच धक्क्याचे दिशेंत तो पदार्थ सतत चालेल. गुरुत्वाकर्षण अथवा दुसरें कोणीएक आकर्षणही धक्क्यापेक्षां स्वभावतः भिन्न आहेत. धक्का एकदांच मात्र क्रिया करून आपलें सर्व कार्य एकदांच उत्पन्न करितो आणि तें कार्य कितीही काल गेला तरीं बदलत नाहीं. गुरुत्वाकर्षणास तर कार्य उत्पन्न करायाला वेळ पाहिजे आणि प्रारंभापासून जसा जसा काल अधिक होत जातो तसें तसें उत्पन्न झालेलें कार्यही वाढत जातें पृथ्वीचा पृष्ठापासून कांहीं एका उंचीवर टांगिलेला पदार्थ जेव्हां प्रथम मोकळा सोडिला तेव्हां तो अतिसूक्ष्म वेगाने चालूं लागून पृथ्वीचा आकर्षणाचे सतत क्रियेने त्याचा वेग वृद्धिंगत होतो आणि जसा जसा पदार्थ खालीं येत जातो तसा तसा तो वेग क्रमाने अधिक वाढत जातो. यास्तव अशा जातीचे गतीस "वर्धमानगति" ह्मणतात आणि जें बळ अशा गतीस उत्पन्न करितें त्यास "वर्धकबल" ह्मणतात.

(२६) खालीं पडणाऱ्या पदार्थांवर जें पृथ्वीचें आकर्षण आहे त्याचें सततपणाचें विवरण करायास पतनाचे पहिल्या सेकंडाचे समाप्तीस त्या पदार्थाचे आंगीं कांहीं वेग प्राप्त झाला असें कल्पिलें असतां दुसऱ्या सेकंडा-

चे

चे समाप्तीस पहिल्यापेक्षां दुप्पट वेग झाला तिसऱ्या सेकंडाचे समाप्तीस वेग पहिल्यापेक्षां तिप्पट झाला असेंच पुढेंही झालें असें सिद्ध होईल. सारांश पतनाचे आरंभापासून जसा जसा काल वाढतो तसा तसा वेगही वाढत जातो.

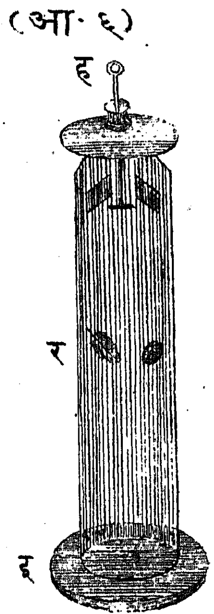
पडणाऱ्या पदार्थाचे आंगीं पतनाचे आरंभापासून कांहीं एका कालांत वेग किती प्राप्त होईल तें गणितरीतीने जाणाण्यास कठिन पडणार नाहीं. पहिल्या सेकंडांत त्या पदार्थास जितका वेग प्राप्त होतो त्या वेगास (ज) ह्मणावा आणि पतनाचे आरंभापासून जितकीं सेकंडें गेलीं त्यांस (ट) ह्मणावीं आणि त्याचे आंगीं जितका वेग प्राप्त झाला त्यास (व) ह्मणावा जितकीं सेकंडें (ट) यांत आहेत तितके पट (ज) याहून (व) अधिक आहे असें वर सांगितलेल्यावरून स्पष्ट होतें. यापासून बीजगणीताचे रीतीप्रमाणे असें सिद्ध होतें कीं (व=जट)

(२७) सर्व पदार्थांवर पृथ्वीचें आकर्षण पदार्थांचे द्रव्यांशांचे परिणामाप्रमाणे क्रिया करितें असें सांगीतलें आहे. त्यावरून आकर्षण पदार्थांचा प्रत्येका अवयवावर निर्निराळीं समान बलें योजितें असें स्पष्ट होतें. कोणीएका अप्रवाही पदार्थावर आकर्षण ज्या एका बलास योजितें तें बल त्या पदार्थाचा प्रत्येका अवयवावर योजिलेल्या बलाचा समुदायाशीं समान आहे. अप्रवाही पदार्थाचे लहान लहान तुकडे केले असतां प्रत्येक तुकडा जितक्या बलाने समुदायांत असतां आकर्षिला होता तितक्याच गुरुत्वबलाने तो पृथक् असतांही आकर्षिला जाईल. यास्तव मोठे आणि लहान जड आणि हलके असे कोणतेही पदार्थ सोडिले असतां एकाच वेगाने खाली पडावे असें फार चमत्कारिक आणि बाह्यदृष्टीने खोटें भासणारें फल येतें. परंतु सामान्य स्थितींत पाहिलें असतां पंख आणि सोन्याचा तुकडा एकाच वेगाने पडत नाहींत असें आढळतें. अणखी कि-

नीएक

तिएक पदार्थ आहेत त्यांतून उदाहरणासाठीं फुगलेलें बलून * घेतलें असतां तें खालीं नपडतां खचीत वर जातें. पूर्वोक्त कारणावरून पाहिलें असतां हीं उदाहरणें विरुद्ध अशीं दिसतात परंतु विरुद्ध दिसतात मात्र वस्तुतः विरुद्ध नाहींत. कारण जेव्हां गुरुत्वाकर्षण पदार्थांवर लागू आहे तेव्हां तें सर्व पदार्थांचे पतनास समान वृद्धिंगत करितें हें खरें आहे परंतु सामान्य स्थितींत पदार्थ खालीं पडतें असतां त्या पदार्थाचा खालचे आंगास वातावरणाचा प्रतिरोध होऊन त्यापासून एक बल उत्पन्न होतें तें गुरुत्वबलास प्रतिरोध करितें. हा प्रतिरोध गुरुत्वबलासारिखा पदार्थांचें वजन किंवा त्याचे द्रव्यांश यांचे प्रमाणांत नाहीं परंतु पदार्थाचा जितक्या खालचा भागास वायु निरोध करितो त्या प्रमाणांत आहे. सोन्याचा तुकड्यापेक्षां पंख आपल्या वजनाचे प्रमाणांत फारच मोठ्या आंगाने वायूस निरोध करितो. त्यामुळे खालीं यावयास फारच मोठा प्रतिरोध अंगिकारितो. वातावरणाचें वजन बलूनाचा खालीं येण्यास बंद करून त्याला वर घालवितें. याविषयींचीं कारणें वातविज्ञान निबंधाचा साव्या भागांत (५१) कलमांत लिहिलें आहे.

(आ. ६)



(२८) गुरुत्व इतर बलावांचून स्वतंत्रपणाने क्रिया करीत असतां सर्व पदार्थांला एकाच वेगाने खालीं आणायाविषयीं कारण आहे हा सिद्धांत परीक्षा योजून स्थापिल्याने समाधान होईल.

वाताकर्षकयंत्राचे (आकृति ७)

---

* बलून ह्मणजे रेश्मी वस्त्राचा एक पोकळ गोलाकार पदार्थ करून त्यांत गास ह्मणून एक फार हलका वायुस्वरूप पदार्थ आहे तो भरून वातावरणावर तरायाजोगा एक पदार्थ करीत असतात. तें वातावरणापेक्षां फार हलकें आहे ह्मणून वर आकाशांत जातें.

७) (इ) या पत्र्यावर (र) हें कांचेचें लांबोडें पात्र वर उघडलेलें आहे असें ठेवावें. त्याचा तोंडावर आंत वायु न जाई असें झांकण द्यावें. आणि वायूला आंत नजाऊं देई असा एक पितळी गज त्या झांकणामधून आंत घालावा. आणि त्या गजाच्या आंतल्या अग्रावर एक आडवा तुकडा जोडावा. तो तुकडा ज्यांजवर धातूच्या तुकडा आणि पंख ठेविला आहे अशा अडकणांला आधारभूत आहे. तो गज (ह) या जागीं हाताने फिरविला असतां अडकणें बाजूकडे होऊन ते पदार्थ खालीं पडतात. अशा युक्तीने तीं अडकणें केलीं आहेत. अशी रचना करून पात्र यंत्राचा योगेंकरून वायूने रिक्त करावें नंतर तो गज (ह) या जागीं धरून फिरवावा. तेणेकरून ज्यांवर पंख आणि धातुचा तुकडा ठेविला आहे तीं अडकणें बाजूस होऊन पंख आणि धातूचा तुकडा त्या अडकणापासून सुटून यंत्राचे (इ) पत्र्यावर एकाच्च खालीं येऊन पडतील. ज्याची सामग्री अशी बळकट कीं तें निर्वात पत्रांत ठेविलें असतां त्यांतील गासाचें स्थितिस्थापक बल त्याला फोडायास यत्न करीत असतां त्याचा प्रतिरोध करून फुटून जात नाहीं असें एक लंहान बलून घेऊन त्या निर्वात पात्रांत ठेविलें असतां त्या पात्रांत वरच राहणार नाहीं असा शिशाचा तुकडा त्वरेने पडतो तसें खालीं पडेल.

(२९) खालीं पडणाऱ्या पदार्थास जो वेग प्राप्त होतो तो त्याचे पतनाचे कालाचे प्रमाणांत आहे असें सांगीतलें आहे. यास्तव कोणत्याही सांगितलेल्या कालांत किती प्रदेशांतून पदार्थ पडेल याचा नियम मिळेल किंवा नाहीं हें सांगितां येईल जो नियम वेगाविषयीं सांगीतला आहे त्यापासून हा नियम शिक्षामालेचा विचारेकरून सवघडपणाने दाखवितां येईल. परंतु तो विचार एथे * करायास योग्य नव्हे. तो नियम आपाप समजला जातो. को-

* पडणाऱ्या पदार्थाने एका कालांत जो प्रदेश क्रमिला त्याला (स) ह्मणावा. आतां -

णीएक पडणारा पदार्थ पहिल्या सेकंडांत कोणत्या एका प्रदेशांतून पडला तो पहिल्या दोहों सेकंडांत त्या प्रदेशाचे चौपट प्रदेशांतून पडेल पहिल्या तीन सेकंडांत त्याचे नवपट प्रदेशांतून पहिल्या चार सेकंडांत सोळापट प्रदेशांतून पडेल. आतां सामान्यतः सांगितलेल्या कोणीएका सेकंडांत तो किती प्रदेशांतून पडेल हें आणायासाठीं असें करावें पहिल्या सेकंडांत जितक्या प्रदेशांतून पदार्थ पडला तितक्या प्रदेशाने पतनाचीं जितकीं सेकंडें झालीं असतील त्यांचा वर्गाला गुणावा. उदाहरण पहिल्या सेकंडांत जितक्या प्रदेशांतून पदार्थ पडतो तो प्रदेश (म) आणावा. आणि जितकीं सेकंडें विवक्षित आहेत तीं (ट) आणावीं. आतां (ट) सेकंडांत किती प्रदेशांतून पडला त्या प्रदेशास ($मट^2$) दाखवील. आणि जर हा सर्व प्रदेश (स) कल्पिला आहे तर ($स= मट^2$) असें मिळतें. यावरून सामान्यतः असें म्हणतो कीं " जा प्रदेशांतून पदार्थ पडतो ते प्रदेश पतनाचे प्रारंभापासून जितके कालविशेष झाले त्यांचा वर्गाचे प्रमाणांत आहेत. "

(३०) पदार्थ पतनाचा दुसऱ्या सेकंडांत जा प्रदेशांतून पडतो तो प्रदेश पहिल्या दोहों सेकंडांत जितक्या प्रदेशांतून पडला त्यांतून पहिल्या सेकंडांतला प्रदेश वजा केल्याने ज्ञात होईल. पहिल्या दोहों सेकंडांतला प्रदेश (४ म) आहे आणि पहिल्या एका सेकंडांतला प्रदेश (म) आहे. यांची वजाबाकी केली असतां दुसऱ्या सेकंडांतला प्रदेश (३म) आहे असें सिद्ध होतें. पुनः पतनाचा तिसऱ्या सेकंडांत जा प्रदेशांतून पदार्थ पडतो तो प्रदेश पहिल्या तीन सेकंडांतील प्रदेश जो (९म) आहे त्यांतून पहिल्या दोहों सेकंडांतला प्रदेश जो (४म) तो वजा केला असतां (५म) असा ज्ञात होईल. या रीतीने चवथे पां-

---

($व=\frac{ड\,स}{ड\,ट}= अट$) असें सिद्ध होतें. यापासून ($सड= डट\,अट$) असें सिद्ध होतें आतां त्यांत अंक घालून दाखविलें असतां ($स= \frac{1}{2}\,अट^2$)

चवे

नवे साहवे इत्यादि सेकंडांत जांतून पदार्थ पडतो ते प्रदेश क्रमाने (७ म) (९ म) (११ म) इत्यादिरूप आहेत असें ज्ञात होतें. साराश " जा प्रदेशांतून सेकंडाचे अनुक्रमाने किंवा कोणतेही समान कालमानाने पदार्थ पडतो ते प्रदेश (१)(३)(५)(७) इत्यादि विषम संख्यांचे प्रमाणांत आहेत."

(३१) याजवरून खालीं पडणारा पदार्थ कोणीएका सांगितलेल्या कालांत जो वेग धारण करितो त्याची गणना पहिल्या सेकंडांत जितका वेग धारण करितो त्याचे स्वाधीन आहे असें दिसतें. ह्मणून उत्तरोत्तर कोणताही दुसरा वेग मोजायासाठीं पहिल्या सेकंडांतला वेग अवश्य आणिला पाहिजे. तसा कोणत्याही सांगितलेल्या कालांत जा मधून पदार्थ पडला तो प्रदेश आणायास पहिल्या सेकंडांत किती प्रदेशांतून पदार्थ पडतो तो अवश्य आणिला पाहिजे. पहिल्या सेकंडांत जो वेग आणि जो प्रदेश प्राप्त झाला ते सर्व हिशोबाचें मूलकारण आहेत आणि खालीं पडणाऱ्या पदार्थांचे चमत्काराविषयीं जीं नानाप्रकारचीं प्रकरणें आहेत त्यांचा हिशोब करायास उभयतांचेंच प्रयोजन आहे.

(३२) हीं मूलकारणें असंबद्ध नाहींत. यास्तव दोहोंतून एक समजलें असतां तत्काल दुसरें समजेल. विवक्षित कालांत जा प्रदेशांतून पदार्थ पडतो तो प्रदेश आणि त्या कालांत जो वेग त्यास प्राप्त होतो तो वेग या दोहोंमध्यें जो चमत्कारीक संबंध आहे त्या पासून हें उत्पन्न होतें. जर कोणीएक पदार्थ गुरुत्वबलाचे क्रियेने कोणीएका कालापर्यंत ह्मणजे एका सेकंडा पर्यंत पडला नंतर आकर्षणबलाची क्रिया अकस्मात् बंद केली तर त्यापासून काय फल उत्पन्न होईल ? त्या पदार्थाला पुढें अधिक वेग प्राप्त होणार नाहीं. कारण जा कारणाने त्यास उत्तरोत्तर वेग सतत मिळत होता तें कारण बंद झालें परंतु बंद होण्यापर्यंत जितका

वेग

वेग त्याणे घेतला होता तो वेग सुटत नाहीं यास्तव तो पदार्थ खालीं पडतो परंतु वर्धमान गतीने पडत नाहीं त्यास जितका वेग प्राप्त झालेला आहे त्याच वेगाने पडतो. तो वेग त्याचा सर्व पतनामध्यें एकसारिखा ह्मणजे त्या पदार्थाला समान कालांत समान प्रदेशांत चालविणारा असा राहतो. तेणेकरून गुरुत्वाचे बलाने पहिल्या सेकंडांत जितक्या प्रदेशांतून पदार्थ पडला तितक्या प्रदेशाशीं समान दुप्पट प्रदेशांतून पहिल्या सेकंडानंतर प्रत्येका सेकंडांत पदार्थ पडतो. * आतां पहिल्या सेकंडांत जितका प्रदेश एकसारिख्या वेगाने क्रमिला त्या प्रदेशाने वेग मोजिला असतां पहिल्या सेकंडांतला वेग गुरुत्वाचे क्रियेने जितक्या प्रदेशांतून पहिल्या सेकंडांत पदार्थ मोकळेपणाने पडतो त्या प्रदेशाचे दुप्पट आहे असें सिद्ध होतें. आतां जो प्रदेश (म) दाखवितो तो (ज) जो प्रदेश दाखवितो त्याचे अर्धांशीं समान आहे.

(३३) जीं दोन प्रमाणें प्रदेश काल आणि प्राप्त झालेला वेग यांतला संबंध बीजगणिताने दाखवितात तीं अशीं आहेत ह्मणजे (व= जट) (स= ½ जट२) एथे पहिल्या सेकंडांत जो वेग प्राप्त झाला त्यास (ज) दाखवितो. किंवा अशीं आहेत ह्मणजे (व=२मट) (स= मट२) यांत जा प्रदेशांतून मोकळेपणाने पहिल्या सेकंडांत पदार्थ पडतो त्या प्रदेशास (म) दाखवितो.

जे नियम पूर्वी सांगीतले आहेत त्या नियमांप्रमाणें प्रदेश वेग आणि काल यांचा संबंध पुढील कोष्टक दाखवितें. पहिल्या सेकंडांत जा प्रदेशांतून पदार्थ पडतो त्या प्रदेशाची लांबी एकत्वाने घेतली आहे.

---

* (२६) कलमाप्रमाणे (व= जट) असें पाहिलें. आणि (२९) कलमाचे टिपेवरून (स= ½ जट२) असें सिद्ध झालें. या समिकरणांनी (ज) याचे स्थानी (व) स्थापिला असतां (स= ½ वट) असें प्राप्त होतें. परंतु (ट) इतक्या कालांत (व) या समान वेगाने जो प्रदेश क्रमिला तो (वट) आहे. यास्तव तो (वट) जितक्या (स) या जा प्रदेशांतून (ट) इतक्या कालांत पदार्थ पडतो. त्या प्रदेशाचे दुप्पट आहे

पतनाचा आरंभापासून सेकंडें	सेकंडाचे अंतीं प्राप्त झालेला वेग	अतीक्रांत सेकंडांतील आक्रमिलेला प्रदेश	प्रत्येका सेकंडांत आक्रमिलेला प्रदेश
१	२	१	१
२	४	४	३
३	६	९	५
४	८	१६	७
५	१०	२५	९
६	१२	३६	११
७	१४	४९	१३
८	१६	६४	१५

याच प्रकारें हे कोष्टकांतील अंक पाहिजे तितके वाढवितां येतील.

(३४) जे नियम गुरुपदार्थांचा पतनाविषयीं आहेत त्या प्रत्येका नियमाचें विवरण केलें परंतु त्यांची परीक्षा योजायास फार अडचण पडती कोणीएक पदार्थ पहिल्या सेकंडांत उंचीचा लंब दिशेंत सुमारें सोळा फुटी * पडतो दोहों सेकंडांत चवसष्ट फुटी पडतो आणि चार सेकंडांत सुमारे (२५६) फुटी पडतो. अशी परीक्षा जर चार सेकंडांपर्यंत करायाची आहे तर (२५६) फुटी इतकी उंचीची जागा घेतली पाहिजे परंतु पुढें वेग पाहण्याविषयीं परीक्षा फार मोटी आहे ह्मणून फारच अडचण पडेल. पहिल्या सेकंडांत जो वेग प्राप्त झाला तो वेग प्रत्येका सेकंडास (३२) फुटी प्रमाणे आहे ह्मणून जो वेग चार सेकंडांत प्राप्त होतो तो प्रत्येका सेकंडास (१२८) फुटी किंवा प्रत्येका मिनिटास † (७६८०) फुटी होईल.

या अशा अडचणीशिवाय अशा त्वरित गतीस वातावरणाचा असा फारच मोठा प्रतिरोधही आहे कीं त्यामुळें परीक्षेने पाहिलेलीं जीं कार्यें त्यांशीं आणि जांनून सर्व प्रतिरोध काढिले आहेत असें कल्पून

* शुद्ध पाहिलें तर हा प्रदेश (१६) फुटी आणि एक इंच किंवा १९३·०१ इंचा लंडन शहरांत आहे.

† मिनिट ह्मणजे (२।। पळें) किंवा (६०) सेकंडें

जे नियम पदार्थांचा मोकळ्या पतनाविषयीं स्थापिले आहेत त्यांशीं फार भेद पडतो.

(३५) असें आहे तथापि त्या नियमाची सत्यता चांगल्या परीक्षांनी अनुभवास येईल आणि जा अडचणी आतां सांगितल्या त्या अडचणी जरीं नीट काढितां येत नाहींत तरींही त्यांस चुकवितां येतील. जार्ज आत्वुड साहेब याचे मनांत असें आलें कीं गुरुत्वबलाचे जातीचें कोणीएक फार लहान मानाचें बल मिळालें असतां त्या बलाने चालू केलेल्या पदार्थाचें जें पतन तें गुरुत्वबलाने जड पदार्थांचा पतनावर जे नियम लागतात त्याच नियमांनी ठरलें जाईल आणि तें पतन असें हळूहळू होईल कीं त्या पतनावर वायूचा प्रतिरोधाचें कार्य भासायाजोगें उत्पन्न होणार नाहीं. असें झालें असतां प्रदेश काल आणि वेग यांचे सर्व विशेष सावकाशीनें आणि शुद्धतेने पाहतां येतील आणि शुद्धतेने मोजिले जातील. ही कल्पना खरी करावयास त्या पुरुषाने समान आंसावर मोकळेपणाने फिरत्या चक्राचा घेरावर केलेल्या खचणींत बारीक रेशमी दोरा सोडून त्या दोऱ्याचे शेवटांस दोन समान वजनें बांधिलीं. तीं वजनें अशा स्थितींत समतोलनाचे अवस्थेंत होतीं. त्यांतून एका वजनाला त्याणे तें वजन दुसऱ्याहून कांहींसें अधिक व्हावें ह्मणून एक लहानसें वजन जोडिलें. तेणेकरून तें दुसऱ्या बाजूकडल्या वजनास वर आणयास कारण होऊन आपण खालीं उतरूं लागलें आणि त्या चक्राचें घर्षण मनांत न आणिल्यामुळे या प्रकरणांत त्याचें पतन एकसारिखें वर्धमान गतींत होत आहे असें भासलें. गुरुपदार्थांचा पतनाशीं तुल्य जातीचें हें पतन आहे परंतु यांत इतका विशेष आहे कीं खालीं येणाऱ्या वजनाचा जडपणा कित्येक अंश कमी केल्याने शुद्ध रीतीने यथायोग्य पहाण्याविषयीं पतनाची वर्धमान गति पाहिजे तितकी कमी करितां येईल.

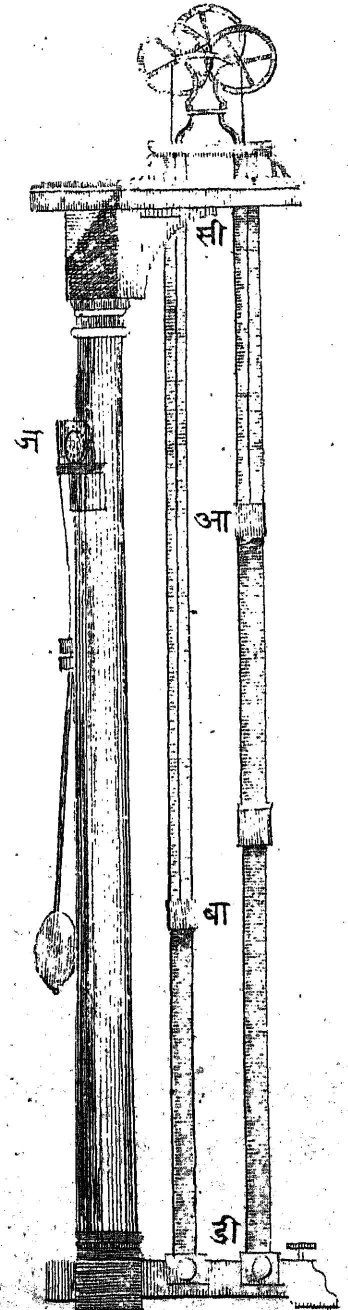
(२६) हलके आणि जड पदार्थ यांचीं पतनें गुरुत्वाचे योगानें समान रीतीनें वर्धमान होतात असें सांगितलें आहे आणि समान वजनें दोऱ्यांला बांधिलीं असतां परस्परांला समतोलनांत राखितात. यास्तव एका बाजूस जोडिलेलें तें लहान वजन निराळें असतां गुरुत्वाचा क्रियेने खालीं यावयास जितका वेग त्याचा आंगीं असतो तितक्याच वेगानें खालीं जोडिलें आहे त्यासह वर्तमान खालीं येईल अशी कल्पना प्राप्त होईल. परंतु जें बल गुरुत्वाचा योगानें प्राप्त झालें आहे त्या बलाचें सर्व कार्य त्या वजनाला खालीं नेणे हेंच जर असेल तर पूर्वोक्त कल्पना सिद्ध होईल परंतु दोऱ्याचे दुसऱ्या शेवटास जें वजन बांधिलें आहे त्यास वर नेणे हेंही कार्य त्या बलाचें आहे हें ध्यानांत ठेवावें. आणि खालीं येणाऱ्या शेवटास जें पूर्वी वजन बांधिलें आहे त्याचें कार्य दुसऱ्या कडल्या वजनास समतोलनांत राखावें हेंच आहे. त्याला उचलावें हें कार्य त्याकडे नाहीं दोऱ्याचे खालीं येणाऱ्या शेवटास जें अधिक वजन जोडिलें आहे त्यावर जें बल गुरुत्व ठेवितें तेणेंकरूनच दुसऱ्या वजनाचें वर चढणे पडतें. खालीं येणाऱ्या शेवटास अधिक जोडिलेलें वजन मोकळें असतां जा बलानें खालीं येतें त्या बलापासून जें बल दुसऱ्या बाजूचे वजनाला उचलायाला खर्चिलें जातें तें अगत्य वजा केलें पाहिजे. जोडिलेलें वजन खालीं येणाऱ्या वजनास खालीं ओढायासाठींही कारण आहे आणि हें वजन चढणाऱ्या वजनास चढण्याविषयीं जितकें गतिबल देतें तितकेंच उतरत्या वजनास उतरण्याविषयीं देतें. यापासून जोडिलेल्या दोहों समान वजनाचे मुकाबल्यांत जोडिलेलें वजन जसें जसें लहान असेल तसें तसें त्याचें खालीं येण्याचें मान हलकें होत जाईल असें सिद्ध होतें.

यद्यपि वजनें जोडिलेला दोरा जा चक्रांवर ठेविलेला आहे त्या

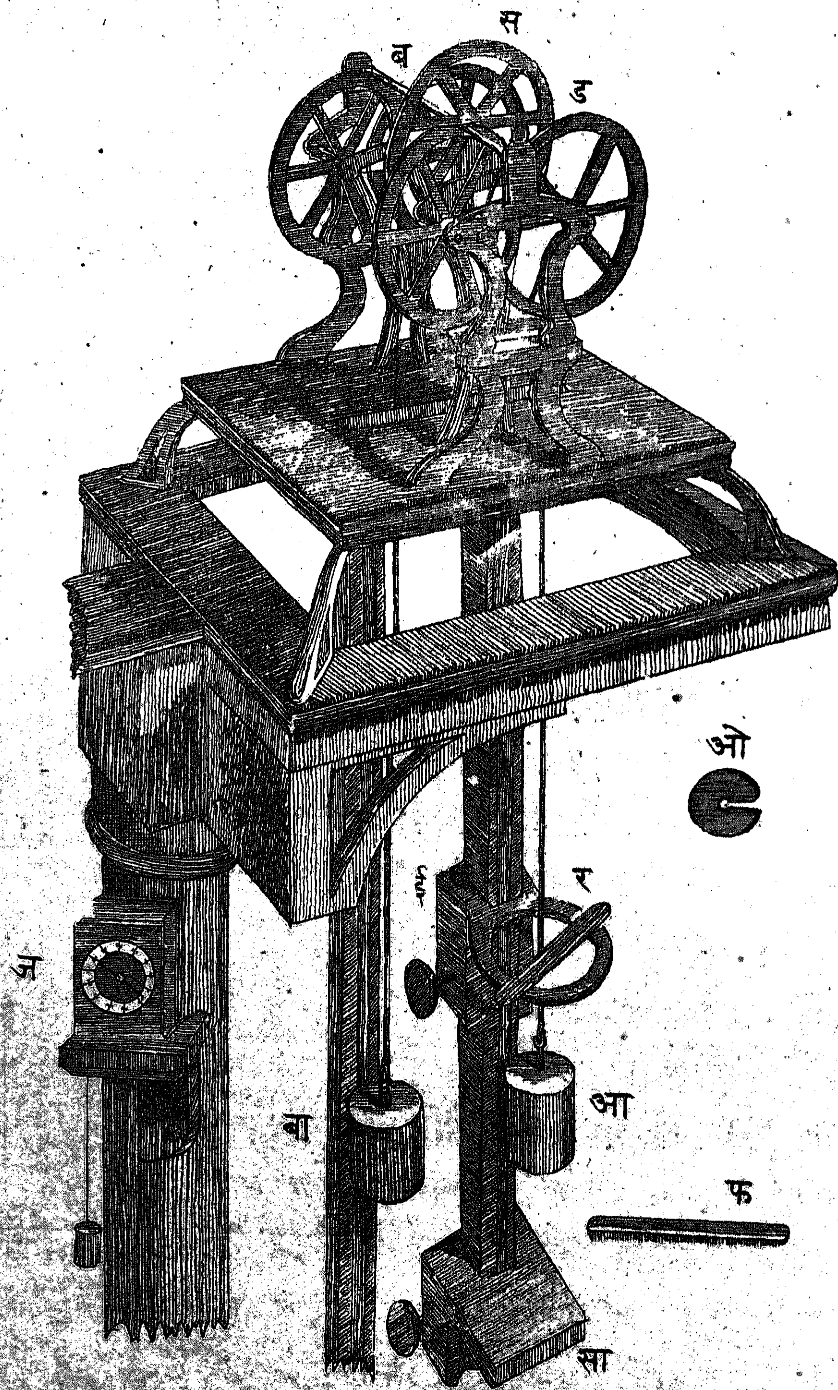
चक्राचें घर्षण काढायाचें राहिलें. तें आत्वुड साहेबानें युक्तीनें दुसरीं चक्रें जोडून त्यांचे योगानें काढिलें. या प्रकारें जा चक्रावर दोरा ठेविला आहे त्या चक्राच्या आंस वर्तुल छिद्रांत न फिरूं देतां त्या चक्रांचे धारांवर ठेविला. यांच्या योगानें जांत आंस फिरतो त्या वर्तुलछिद्रांचे आंतील पृष्ठावर जें घर्षण होत असे तें अगदीं काढिलें. यास्तव या चक्रांला "घर्षण चक्रें" ह्मणतात. वजनाचे गतीस जें घर्षण होतें तें सर्व काढिलें नाहीं तथापि जा परीक्षेसाठीं यंत्र घेतलें त्या परीक्षेंत वजनांचे गतीवर त्याचें कार्य दिसत नव्हतें इतकें घर्षण कमी केलें.

(६७) या सुंदर आणि उपयोगी युक्तीचें रूप (८) आकृतींत दाखविलें आहे आणि याहून मोठ्या आकारानें (९) आकृतींत दाखविलें आहे. या आकृतींत वजनें बांधिलेला दोरा जा चक्रावरून सोडिलेला आहे त्या चक्राची (ब स ड) ही धार आहे. या चक्राचे आंसाचे दोन शेवट चक्राच्या दुसऱ्या दोहों जोड्यांच्या धारांवर ठेविले आहेत. आणि जसें पहिल्यानें सांगीतलें होतें तसें आकृतींत दाखविलें आहे. ज्यावर यंत्र ठेविलें आहे असा चौरंग एका बळकट खांबावर ठेविला आहे. त्या चौरंगाचे खालचे बाजूशीं (सीडी) हा दांडा उभा ठेविला आहे. त्यावर पतनाचें मान मोजायासाठीं इंच अर्धइंच इंचेचे दशांश अशीं भागांचीं चिन्हें केलीं आहेत. (ब स ड) या चक्राचे खचणीकेल्या धारेवर जो दोरा आहे त्याचे शेवटांस (आ) आणि (बा)

(आ. ८)



(आकृति १)



हीं दोन समान वाटोळ्या आकाराचीं वजनें बांधिलीं आहेत. आणि त्या चिन्हित दांड्यावर वजनाचें पतन विवक्षित चिन्हावर खुंटवायासाठीं मळसूत्राने जोडितां येईल असें एक (सा) हें लहान अडकण लाविलें आहे. आणि पतनाचें मान कळायासाठीं एका एका सेकंडावर ठोकीत आहे असें (ज) हें एक घड्याळ मुख्य खांबास लाविलें आहे.

(आ बा) हीं वजनें प्रायः अशीं केलीं आहेत कीं (आ) या लांबोड्या वजनावर (ओ) हें पाव औंसाचें * वजन ठेविल्याने (आ) हें वजन एका सेकंडांत तीन इंचा खालीं येईल. जें कोणीएक बल गुरुत्वबलाहून च्वसष्ट पट कमी आहे आणि ज्याला गुरुत्वबलाचे विशेष गुण आहेत असें वर्धमान बल याजपासून मिळालें आहे. या बलाने गुरुत्वबल लहान मानाने आणि शुद्धतेने दाखविलें आहे.

(३८) आतां गुरुपदार्थाचे पतनाविषयीं जा नियमाचें विवरण केलें आहे ते नियम परीक्षेने स्थापायास हें यंत्र कसें उपयुक्त पडतें तें दाखवितो.

परीक्षा.(१) हे नियम परीक्षेने स्थापायासाठीं चिन्हित दांड्यास विवक्षित चिन्हावर मळसूत्राने बंद करायाजोगा जो (ई) हा तुकडा आहे त्यास जोडिली अशी (र) ही एक कडी आहे. आणि जो कडीचा व्यासापेक्षां लांब असून ज्याचें वजन पाव औंस आहे असा एक (फ) हा धातूचा लांबट तुकडा आहे. आतां (र) ही कडी कोणी एका विवक्षित चिन्हावर मळसूत्राने जोडावी आणि (आ) हें वजन जा अडकणावर टेकलें असतां वजनाचा माथा (र) या कडीपासून खालीं पूर्ण साहा इंचा होईल असें (सा) हें अडकण त्या दांड्याला जोडावें. नंतर (बा) या वजनाचे ओढण्याने (आ) या वजनाचा माथा (र) या कडीचे वर पूर्ण

---

* औंस ह्मणजे सुमारें (२.६८१) तोळे आहेत.

तीन इंचा होई असें (आ) या वजनास वर न्यावें. (आ) या वजनास अशा अवस्थेंत धरून त्यावर (फ) हा तुकडा ठेवावा आणि घड्याळाचे ठोक्यांवर लक्ष्य ठेऊन कोणत्या एका ठोक्यासहवर्तमान (आ) या वजनाचें पतन आरंभूं द्यावें. आतां (फ) या तुकड्याचा नाद (र) या कडीवर दुसऱ्या ठोक्यासहवर्तमान होईल आणि (सा) या अडकणावर (आ) या वजनाचा नाद तिसऱ्या ठोक्यासहवर्तमान होईल असें घडेल. (आ) या वजनाची पहिल्या सेकंडांतली वर्धमान गति जी कडीवर तुकडा आपटण्याचा पूर्वी होती तिचें सर्व कारण तुकड्याचे वर जी क्रिया गुरुत्व करीत होतें ती आहे असें स्पष्ट होईल. हें (३६ कलमांत पाहावें. जेव्हां पहिल्या सेकंडाचे अंतीं (फ) हा तुकडा कडीने (आ) या वजनापासून घेतला तेव्हां वर्धमान-त्याचें कारण ह्मणजे गुरुत्वाची क्रिया ही बंद झाली आणि (आ) हें वजन (सा) या अडकणाकडे (र) या स्थलीं मिळालेल्या वेगाने चालतें झालें आतां हा वेग एका सेकंडांत तें वजन साहा इंचा चालायाजोगा आहे असें पाहिलें.

(परीक्षा २) (आ) हें वजन जेव्हां अडकणावर टेंकतें तेव्हां त्या वजनाचा माथा (र) या कडीपासून बारा इंचा होईल असें त्या अडकणास ठेवावें. आणि (बा) हें वजन इतकें खालीं ओढावें कीं (आ) या वजनाचा माथा (र) या कडीचेवर बारा इंचा होईल. नंतर (फ) हा तुकडा (आ) या वजनावर ठेवावा आणि तें वजन घड्याळाचे कोणीएका ठोक्यासहवर्तमान सोडावें. नंतर (फ) या तुकड्याचा नाद कडीवर तिसऱ्या ठोक्यासहवर्तमान झाला ह्मणजे बारा इंचांचें पतन दोहों सेकंडांत केलें असें होईल. आणि (आ) या वजनाचा नाद (सा) या अडकणावर चवथ्या ठोक्यासहवर्तमान झाला ह्मणजे तें वजन जितका वेग दोहों सेकंडांत प्राप्त झाला होता तितक्याच वेगाने कडीचा खालीं बारा इंचा चालतें असें होईल.

(परीक्षा ३) आतां (सा) हें अडकण खालीं नेऊन (आ) हें वजन त्या-
अवर जेव्हां टेंकतें तेव्हां त्याचा माथा अठरा इंचा (र) या कडीचे खालीं हो-
ईल असें ठेवावें. आतां (आ) या वजनाचा माथा (र) या कडीचे वर सत्ता-
वीस इंचा होईल इतकें (बा) हें वजन खालीं ओढावें आणि पहिल्याप्रमा-
णे (फ) हा तुकडा (आ) या वजनावर ठेवावा आणि घड्याळाचे पहिल्या
ठोक्यासहवर्तमान वजनाचे पतनास आरंभू द्यावें ह्मणजे तो तुकडा चव-
थ्या ठोक्यासहवर्तमान कडीवर नाद करील आणि (आ) हें वजन (सा)
या अडकणावर पांचव्या ठोक्यासहवर्तमान नाद करील ह्मणून तें वजन
सत्तावीस इंचा तीन सेकंडांत वर्धमान गतीने गेलें असें होईल आणि तीन
सेकंडाचे अंती एका सेकंडांत अठरा इंचांतून पडावें असा त्याचे अंगीं वेग
प्राप्त होईल.

(३९) आतां या तीन परीक्षांचीं फलें तपासावीं. एका सेकंडांत जो वे-
ग प्राप्त झाला तो (आ) या वजनास एका एका सेकंडास सहा सहा इंचा
प्रमाणे चालू करावयास आहे असें पहिल्या परीक्षेनें दिसतें आणि दो-
हों सेकंडांत जो वेग प्राप्त झाला तो एका एका सेकंडास बारा बारा इंचा
प्रमाणे आहे असें दुसऱ्या परीक्षेने दिसतें. तीन सेकंडांत जो वेग प्राप्त झा-
ला तो एका एका सेकंडांत अठरा अठरा इंचा प्रमाणे आहे असें तिस-
ऱ्या परीक्षेने दिसतें. स्पष्टार्थ जे वेग एका दोहों आणि तीन सेकंडांत प्राप्त हो-
तात ते सहा बारा आणि अठरा या संख्यांत क्रमाने आहेत. या संख्या ए-
क दोन आणि तीन या संख्यांचे प्रमाणांत आहेत. यापासून ज्या नियमा-
चें विवरण पूर्वी केलें होतें ह्मणजे "जे वेग प्राप्त झाले ते वेग जितक्या का-
लांत प्राप्त झाले तितक्या कालांचेच प्रमाणांत आहेत." या परीक्षांनी त्या नि-
यमाचा खरेपणा दाखविला.

पहिल्या परीक्षेंत तें वजन एका सेकंडांत तीन इंचांतून पडलें दुस-

ऱ्या

ऱ्या परीक्षेंत दोहों सेकंडांत बारा इंचांतून पडलें आणि तिसरींत तीन सेकंडांत सत्तावीस इंचांतून पडलें. आतां तीन बारा आणि सत्तावीस या संख्या एक चार आणि नऊ या संख्यांत आहेत. या संख्या एक दोन तीन या संख्यांचे वर्ग आहेत. यापासून ज्या नियमाचें विवरण केलें होतें ह्मणजे "ज्या प्रदेशांतून पदार्थ पडतो ते प्रदेश कालांचे वर्गांचे प्रमाणांत आहेत." तो नियम खरा केला आहे.

• पहिल्या परीक्षेंत जो वेग तीन इंचांतून पडताना प्राप्त झाला तो जेव्हां उत्तरोत्तर वृद्धी वांचून एक सारिखा सतत राहिला तेव्हां तितक्याच कालांत त्या वजनास सहा इंचांतून खालीं नेलें असें दाखविलें होतें दुसऱ्या परीक्षेंत जो वेग दोहों सेकंडांत बारा इंचांतून पडताना प्राप्त झाला तेणेकरून (आ) हें वजन एका सेकंडांत बारा इंचांतून चाललें ह्मणून दोहों सेकंडांत चोवीस इंचांतून चालेल असें दाखविलें होतें. या प्रकारें तिसऱ्या परीक्षेंत तीन सेकंडांत सत्तावीस इंचांतून पडताना जो वेग प्राप्त झाला तेणेकरून (आ) हें वजन एका सेकंडांत अठरा इंचांतून चाललें ह्मणून तीन सेकंडांत चौपन्न इंचांतून चाललें असें दिसतें. यास्तव यांतली प्रत्येक परीक्षा या नियमाचा खरेपणा दाखविती ह्मणजे "ज्या कोणी एका [illegible]लांत पदार्थ जो वेग धारण करितो तो जर सतत एक सारिखाच राहिला तर त्या वेगाने तो पदार्थ तितक्याच कालांत पहिल्याचे दुप्पट प्रदेशांतून चालेल"

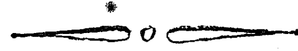
अणखीही पहिल्या परीक्षेवरून पतनाचा पहिल्या सेकंडांत क्रमिलेला प्रदेश तीन इंचा होता आणि दुसऱ्या परीक्षेवरून पहिल्या दोहों सेकंडांत क्रमिलेला प्रदेश बारा इंचा होता असें दिसतें. यावरून दुसऱ्या सेकंडांत क्रमिलेला प्रदेश नऊ इंचा आहे असें फलित होतें. तिसऱ्या परीक्षेवरून तीन सेकंडांत क्रमिलेला प्रदेश सत्तावीस इंचा होता त्या प्रदे-

शापासू

शापासून पहिल्या दोहों सेकंडांत क्रमिलेला प्रदेश जो बारा इंचा आहे तो काढिला असतां बाकी राहिलेल्या पंधरा इंचा तिसऱ्या सेकंडांत क्रमिलेला प्रदेश आहे. पतनाचे पहिल्या दुसऱ्या आणि तिसऱ्या सेकंडांत क्रमिलेले प्रदेश तीन नऊ आणि पंधरा इंचा अनुक्रमाने आहेत. आणि त्या इंचा एक तीन आणि पांच या संख्यांचे प्रमाणांत आहेत. ज्या नियमाचें पूर्वीं विवरण केलें ह्मणजे "पडणाऱ्या पदार्थाने एका पुढें एक समान अवकाशांत जे प्रदेश क्रमिले ते विषम अंकांचा प्रमाणांत आहेत" या परीक्षा त्या नियमाच्या खरेपणा दाखवितात.

ज्या ज्या उंचीपासून पदार्थ पडतात त्या त्या उंची पतनाचे कालांचा वर्गांचा प्रमाणांत आहेत. हें (२९) कलमांत पहावें. आणि ते कालही स्वतः वेगांचे प्रमाणांत आहेत. हें (२६) कलमांत पहावें. तीं प्रमाणांत आहेत ह्मणून त्या उंची वेगांचे वर्गांचे प्रमाणांत आहेत असें फलित होतें. कोणीएका पदार्थाने दुप्पट वेग धारण करावा असें आहे तर त्या पदार्थाला चौपट उंचीपासून पडलें पाहिजे आणि याच रीतीने पुढेंही जाणावें.

भाग ४



गुरुत्वमध्याविषयीं

(४०) पृथ्वीचा विवक्षित पृष्ठावर जा रेषा परस्पर समांतर असून समान सपाटीवर लंब आहेत त्या रेषांत गुरुत्वबल सर्व पदार्थांवर क्रिया करितें आणि तें पदार्थांवर क्रिया करीत असतां केवळ एकवटलेल्या यत्नाने क्रिया करितें असें नाहीं तर पदार्थाचा प्रत्येका अवयवावर निर्निराळे यत्न योजितें. आणि सर्व अवयवांवर जीं कार्यें उत्पन्न होतात तीं सर्व मिळून एकवटलेलीं असतां गुरुत्वबलाचा समुदायाशीं समान आहेत. आतां पदार्थांमध्यें एकच बिंदु आहे त्या बिंदूवर जा बलाचें मान पदार्थारंभक अवयवांवर जा गुरुत्वबलाचा नि र्निराळ्या क्रिया आहेत त्या सर्वांचे बरीजेचे मानाशीं समान आहे असें एक बल गुरुत्वाने योजिलें असतां त्याचें शेवटलें कार्य निर्निराळ्या क्रिया होत असतां जसें कार्य होतें तसेंच होईल. या बिंदूला "गुरुत्वमध्य" ह्मणतात. त्याचें अस्तित्व परीक्षेने ताडून पहावें.

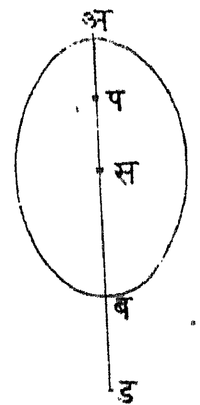
(४१) गुरुत्वाचें आकर्षण एका विशेष बिंदूवर लागू होऊन आपली क्रिया करीत असतां त्या पासून कितीएक कार्यें स्पष्टतेनें अनुभवास येतात.

(प्रथम कार्य) तो बिंदु धरून ठेविला किंवा बद्ध केला असतां तो पदार्थ कोणत्याही अवस्थेंत जसा ठेवावा तसा राहील कारण गति उत्पन्न करण्याविषयीं जें एकच कारण आहे असें कल्पिलें होतें तें कारण त्या बद्ध केलेल्या बिंदूवर क्रिया करितें.

(दुसरें) जर तो पदार्थ सरकायास मोकळा असला तर जा बिं-
दूवर आकर्षण क्रिया करितें तो बिंदु आकर्षणाचे दिशेनें चलित होऊन
जी समान सपाटीवर लंब रेषा आहे त्या रेषेंत चालूं लागेल.

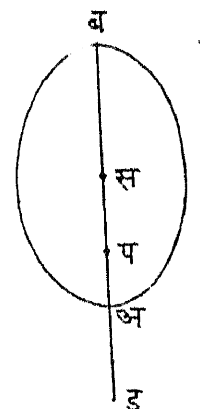
(तिसरें) जा बिंदूवर मात्र गुरुत्वाकर्षण क्रिया करायास कल्पि-
लें आहे त्याहून वेगळा कोणीएक बिंदु कल्पून त्याशीं तो पदार्थ टांगून
धरिला तर तो दोहों अवस्थांत मात्र स्थिर राहील ह्मणजे आकर्षिले-
ला बिंदु त्या स्थिर बिंदूचे नीट वर किंवा नीट खालीं अशा अवस्थांत राही-
ल. आणि आकर्षिलेला बिंदु कोणत्याही दुसऱ्या अवस्थेंत असला तर तो
पदार्थ स्थिर बिंदूचे भोंवता फिरून आकर्षिलेला बिंदु स्थिर बिंदूचे नी-
ट खालीं येऊन स्थिर राही तोंपर्यंत त्या बिंदूचे भोंवतालीं त्या पदार्थाचे
सर्व अवयव धनुष्यें करितील.

(आ. १०)



हीं कार्यें थोडक्या विचारावरून उघड होतील.
(अब) हा एक पदार्थ आहे. आणि तो पदार्थ कर्तुल फि-
रायाजोगा (प) या बिंदूशीं टांगिलेला आहे. आणि जाव-
र गुरुत्वाचें सर्व आकर्षण क्रिया करायास कल्पिलें आ-
हे तो बिंदु (स) आहे. प्रथम असें कल्यावें कीं (स) हा बिं-
दु (पड) या लंबरेषेंत (प) या स्थिर बिंदूचे खालीं आ-
हे. यावरून तें आकर्षण (सड) या रेषेचे दिशेंत क्रिया करीत असतां (प)
या बिंदूवर मात्र pull ताण उत्पन्न करील आणि (प) बिंदुला
ओढ्यास प्रतिरुद्ध करील आणि कांहीं गति उत्पन्न हो-
ऊं देणार नाहीं.

(आ. ११)

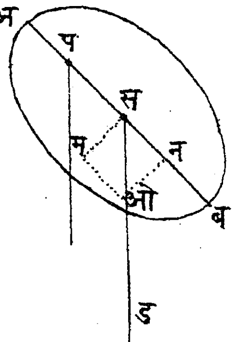


आतां (प) स्थिर बिंदूचे वर लंब रेषेंत (स) बिं-
दु ठेविला असतां गुरुत्वाचें सर्व आकर्षण (सड) या दि-
शेंत क्रिया करून (प) बिंदूवर pressure चेपण उत्पन्न करील. तें

चेपण (प) बिंदूनें प्रतिरुद्ध केलें जाईल. त्यामुळें कांहीं गति उत्पन्न होणार नाहीं

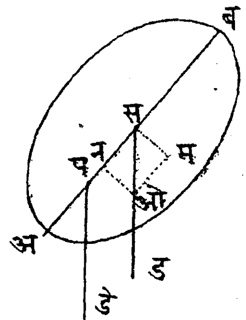
आतां जेव्हां (स) बिंदु कोणत्या एका स्थितींत आहे म्हणजे जी स्थिति (प) या बिंदूच्ये नीट वर नाहीं अथवा खालींही नाहीं अशा स्थितींत आहे. (सड) ही रेषा समान सपाटीवर लंब काढावी आणि (स) पासून (स ओ) हा कोणीएक भाग घेऊन (स न ओ म) असें समांतररेषचौकोन काढावें. त्याचा (नओ) आणि (मस) या बाजू (पसब) या रेषेवर लंब आहेत.

(आ. १२)



आतां जें सर्व आकर्षण (स) बिंदूवर आहे त्याशीं समान (सओ) ही रेषा (आकृति १३) घ्यावी. ही रेषा (सन) आणि (सम) या दोहों रेषांनी जीं दोन निर्निराळीं आकर्षणें मानांत आणि दिशांत दाखविलीं आहेत त्यांचे तुल्य आहे. असें (९) कलमावरून सिद्ध होतें. आणि हिचें कार्य या दोहों आकर्षणाचें एकवटलेल्या कार्याशीं समान आहे. आतां कोणीएक बल (स) कडून (सन) या दिशेंत क्रिया करीत असतां गति उत्पन्न करण्याविषयीं त्याचे आंगीं कर्तृत्व नाहीं कारण (सन) याचें बल जाला चेपितें त्या (प) स्थिर बिंदूनें तें प्रतिरुद्ध होतें. आणि (सप) या रेषेवर लंब जें (सम) हें दुसरें बल आहे तें मात्र पदार्थाला (प) बिंदुभोंवता धनुष्याकार फिरवायास प्रेरक होऊन (प) या स्थिर बिंदूखालीं (पेड) या रेषेपर्यंत (स) बिंदूस आणितें आणि कांहीं आंदोलनानंतर तो (स) बिंदु त्या स्थितींत स्थिर राहतो.

(आ. १३)



(४२) पदार्थांचे अवयवांवर जा गुरुत्व बलाचा क्रिया समांतर रेषांत

रेषांत होतात त्या क्रियांनी एकट्या बिंदूवर क्रिया करणारें जें स्वतुल्य बल आहे तें जर दाखवितां येईल तर जे नियम आतां सांगीतले त्या नियमां वरून तो बिंदु शोधितां येईल असें उक्त विचारावरून सिद्ध होतें. ज्या-चीं दोन पृष्ठें समांतर आहेत अशा पृष्ठांचा पदार्थ घेऊन त्यांत एक बिं-दु कल्पून त्याशीं त्या पदार्थाला टांगावा. नंतर तो पदार्थ एकाच स्थितींत न हालतां स्तब्धतेने लोंबत राहील असें दिसेल. स्थिर बिंदूस ओळंबा ला-वून त्या पदार्थाचे सपाट पृष्ठावर ओळंब्याचे दिशेंत रेषा करावी. नंतर पृ-ष्ठांतील दुसऱ्या एका बिंदूशीं तो पदार्थ टांगून त्यावर ओळंब्याचे दिशेंत दुसरी एक रेषा काढावी. अशी कृति पदार्थाचे पृष्ठावरील निरनिराळ्या कि-त्येका बिंदूवर योजून ओळंब्याचे दिशेंत पदार्थावर अशा कित्येक रेषा का-ढिल्या असतां त्या सर्व रेषा एकाच बिंदूवर परस्परें छेदितील असें दिसेल यास्त-व या बिंदूस (४१) कलमांत जो नियम सांगीतला आहे ह्मणजे "पदार्थ समतोलनांत असतां स्थिर बिंदूखालीं लंबतेनें आपाप स्थिरावेल" तो नि-यम या बिंदूस आहे असें फलित होतें.

आतां जो बिंदु असा ठरला तो स्थिर बिंदु कल्पून त्याशीं पदार्थ बांधिला असतां पदार्थ ज्या स्थितींत ठेवावा त्या स्थितींत स्थिर राहील आणि कोणतेही अवस्थेंत असला तरीं आंदोलन करणार नाहीं असें फ-लित होतें.

आतां जो बिंदु एथे ठरविला आहे त्या बिंदूहून कोणीएका इतर बिंदूशीं तो पदार्थ टांगून तो ठरविलेला बिंदु या स्थिर बिंदूचे वर लंब-तेने ठेविला जाईल असा तो पदार्थ ठेविला असतां जोंपर्यंत त्याची स्थिति बदलली नाहीं तोंपर्यंत तो पदार्थ समतोलनांत राहील परंतु त्या बिंदू-ला त्याचे स्थितीपासून चलित करणारा असा लहानसा धक्का पोहोंचला असतां तो बिंदु स्थिर बिंदु भोंवता धनुष्याकार फिरवून कित्येका आंदोल

ना

नानंतर स्थिरबिंदूखालच्या नीट स्थितींत स्थिरावतो.

ज्याचें अस्तित्व आणि नियम उक्त प्रकारें स्थापिले आहेत तोच बिंदु गुरुत्वमध्य आहे.

परीक्षेची कृति सुलभ करायासाठीं मागल्या परीक्षेंत समांतर पृष्ठांचा असा पदार्थ घेतलेला होता. वास्तविक पाहिलें असतां सपाट पृष्ठावर ओळंब्याचे योगाने जेथे रेषांचें छेदन झालें तो गुरुत्वमध्य नव्हे तर सपाट पृष्ठांवर पदार्थांमधून एक लंब रेषा काढिली असतां तिचा जो मधला बिंदु तो गुरुत्वमध्य आहे. जर अप्रवाही पदार्थ सरल रेषांत सहज वेधितां येईल तर तो पदार्थ कोणत्याही आकृतीचा असो तथापि त्याचा गुरुत्वमध्य उक्त रीतीने परीक्षेने ज्ञात होईल. जर तो पदार्थ कितिएका बिंदूशीं उत्तरोत्तर टांगिला आणि सरल रेषांनी वेधिला आणि त्या प्रत्येक रेषा स्थिर बिंदूपासून लंब दिशेंत पदार्थांमधून गेल्या तर त्या रेषा कितीही असल्या तरीं त्या सर्व एका बिंदूवर छेदितील असें दिसेल. तो बिंदु पदार्थाचा गुरुत्वमध्य होईल.

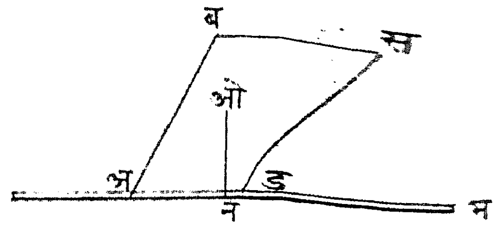
(४३) पदार्थाचा वजनाचे कार्याविषयीं जीं शिल्पविद्येचीं कृत्यें आहेत तीं या गुरुत्वमध्याचा गुणाचा योगाने फार सवघडपणे ज्ञात होतात. कारण पदार्थारंभक सर्व अवयवांवरील जीं गुरुत्वाचा आकर्षणाचीं निर्निराळीं कार्यें आहेत त्यांचा विचार नकरितां या सर्व आकर्षणाचा समुदायाशीं तुल्य असें जें एकटें बल आहे तें गुरुत्वमध्याला समान सपाटीवरील लंबरेषेने ओढितें इतकें मात्र आणिलें पाहिजे. या लंबरेषेला "दिग्रेषा" ह्मणतात. या रेषेंत गुरुत्वमध्य सर्वदा चालेल किंवा चालायास यत्न करील आणि ज्या अवस्थेंत पदार्थ ठेविला आहे त्या अवस्थेंतली जी सर्वांहून खालची स्थिति आहे तिला गुरुत्वमध्य धारण करील.

(४४) ज्या अवस्थेंत पदार्थ ठेविला आहे त्या अवस्थेंतली जी सर्वांहून

र्वाहून वरची स्थिति आहे तिच्यांत गुरुत्वमध्य कांहीं यत्नानें नेला असतां जोंपर्यंत त्याला चाळविणारा धक्का पोंचे तोंपर्यंत तो तेथेंच राहील परंतु पूर्वोक्ताप्रमाणे थोडकासा धक्का पोंचला असता ता धक्का गुरुत्वमध्याला सर्वाहून खालचे स्थितींत आणायास कारण होईल याप्रकारें पदार्थांचा दोन स्थिति सांगितल्या त्यांतून पहिलीला "दृढ समतोलन" आणि दुसरीला "अदृढ समतोलन" ह्मणतात.

(४५) पदार्थ सपाटीवर ठेविला असतां त्याची दिग्रेषा त्याचे तळाशीं अशी संस्पृष्ट असेल तसें त्याचें अचलत्व सिद्ध होईल.

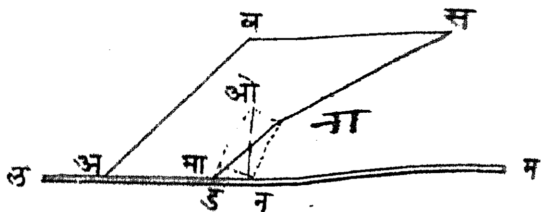
(आ· १४)



(१४) आकृतींत (अ ब स ड) हा पदार्थ (लम) या समान सपाटीवर ठेविला. त्याचा गुरुत्वमध्य (ओ) आहे आणि (ओन) ही दिग्रेषा (अड) या तळाचे आंत आहे. जें सर्व बल गुरुत्व पदार्थावर ठेवितें तें बल (ओ) या स्थलीं (ओन) या दिशेंत लावायास कल्पिलें तर तें बल (लम) या सपाटीने निरोधिलें जाईल आणि तो पदार्थ अचल उभ्याचे उभाच राहील.

परंतु (ओन) (आकृति १५) ही दिग्रेषा (अड) या तळाचे बाहेर गेली असतां विपर्यास होईल. ह्मणजे गुरुत्वबल पदार्थाला त्याचे (ड) या धारेवरून फिरवून (डस) या बाजूवर पाडील अशी क्रिया करील. आतां (ओड) ही रेषा काढावी. आणि (न) पासून (नमा) ही रेषा (डओ) हिवर लंब करावी आणि (न मा ओ ना) हें समांतररेषचौकोन सिद्ध करावें. आतां गुरुत्वाचें सर्व बल दाखवायासाठीं जी (न ओ) ही कर्णरेषा घेतली आहे ती (ओमा) आणि (ओना) या रेषांनी जीं दोन बलें दाखविलीं आहेत त्या बलांनी भेदिली

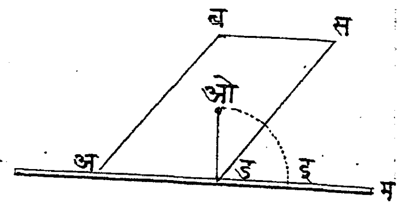
(आ· १५)



दिली जाईल. (९) कलमांत पहावें. (ओमा) हें बल (लम) या सपाटीने (ड) कडे निरोधिलें आहे आणि (ओना) हें बल तसें निरोधिलें नाहीं. यास्तव तें (ड) बिंदूवरून धनुष्याकार फिरावयास यत्न करितें आणि सपाटीवर (म) या बिंदूकडे त्याला पाडितें.

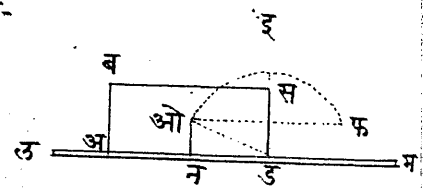
दिग्रेषा तलाचे (ड) या धारेवर पडली असतां तो पदार्थ अदृढ समतोलनाचे अवस्थेंत होईल. (आकृति १६) (ओड) ही रेषा (लम) यास सपाटीवर लंब आणावी आणि (ड) हें केंद्र कल्पून (डओ) या अर्धव्यासाने * वर्तुलाची त्रिज्या † काढावी. स्पष्ट आहे कीं जर (ओ) बिंदु (म) कडे चालविला तर तो (ओइ) या वर्तुल खंडाचे भागांतून चालेल आणि या वर्तुल खंडाचे प्रत्येक शेष भाग (ओ) याचे स्तितीपेक्षां (डम) याचे जवळ आहेत ह्मणून (ओ) बिंदु खालीं अवश्य येईल असें स्पष्ट आहे. या प्रकारांत पदार्थ (म) कडे पडायास थोडा धक्का कारण आहे.

(आ· १६)



(४६) पदार्थाचा गुरुत्वमध्य तलाचे विस्ताराचे प्रमाणाने जसा जसा उंच असेल तसा तसा तो पदार्थ फार अनायासाने उलटेल असें सामान्यतः आहे. याचें सवघडपणाने विवरण होईल. (अबसड) (आकृति १७) हा पदार्थ (लम) समान सपाटीवर (अड) या तलाने रहात आहे. (ओ) हा त्याचा गुरुत्वमध्य आहे आणि (ओन) दिग्रेषा आहे. आतां (ओड) ही रेषा काढावी आणि (ड) हें केंद्र कल्पून (डओ) या अर्धव्यासाने (ओफ) धनुष्य काढावें. (अबसड)

(आ· १७)



---

* अर्धव्यास ह्म॰ वर्तुलाचे केंद्रापासून परिधिपर्यंत जी रेषा जाती ती.

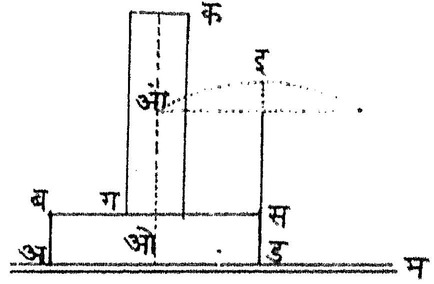
† त्रिज्या ह्म॰ दोहों अर्धव्यासानी स्पृष्ट जो वर्तुलाचा चतुर्थांश.

सड)

सड) हा पदार्थ (ड) या धारेवर फिरवावयाविषयीं (ओ) बिंदु (आइ) या धनुष्यांतून उडून (इ) या बिंदूचे पलीकडे जाईल इतकी (अ) ही धार (ल म) या सपाटीवरून उंच उचलली पाहिजे.

आतां (अबसड) या पदार्थावर (१८) आकृतींत (गक) हें वजन ठेविल्याने गुरुत्वमध्य (ओ) स्थितीपासून (औ) पर्यंत उंच होईल असें केल्यावें. नंतर तो पदार्थ (ड) या धारेवर फिरवावयाविषयीं (औ) हा गुरुत्वमध्य (औइ) या धनुष्यांतून (इ) पलीकडे मात्र नेला पाहिजे.

(आ. १८)



मागल्या उदाहरणांत (ओ) या मध्यबिंदूला (ओइ) या धनुष्यांतून (इ) पलीकडे न्यावयास जी उंची लागली होती तिहून एथे या धारेची उंची फारच कमी असून तेंच कार्य करिती हें स्पष्ट आहे.

गाड्याचे तळांत हलकें ओझें भरून त्यावर त्याचा प्रमाणापेक्षां अधिक ओझें भरिलें असतां त्यास जें उलटायाचें भय आहे तें या रीतीने गणिलें आहे. याचप्रकारें होडींत मनुष्यें उभीं राहिल्याने जें भय उत्पन्न होतें तेंही गणिलें जातें. या उदाहरणांत गुरुत्वमध्याचें उचलणे आहे यास्तव जसा जसा गुरुत्वमध्य उचलतो तशीं तशीं तीं कार्यें अनायासाने होतात.

अग्रावर पदार्थ धारण करणे हें फार अवघड आहे. कारण ज्या अग्राने पदार्थ धारण केला आहे त्या अग्रावर पदार्थाचा गुरुत्वमध्य लंबतेने ठेवण्याची कृति अशक्य आहे. परंतु पदार्थाला वर्तुल गति देऊन त्या अग्रावर फिरविला असतां तो अनायासाने समतोलनांत राहील. या उदाहरणांत अग्राभोंवतालीं प्रत्येका फेऱ्यांत ज्या सर्व योग्य स्थिति आहे-

न

त त्या गुरुत्वमध्यास प्राप्त होतात आणि त्याचे भोंवतालच्या सर्व दिशां-
त पदार्थाला तिरकस करावयाविषयीं गुरुत्वमध्य समान प्रेरक हो-
तो. यामुळें त्याचें जें प्रेरण पदार्थाला कोणी एका दिशेंत तिरकस क-
रितें त्या प्रेरणाला अर्धफेऱ्यानंतर त्याचे समोरचे दिशेंत जें समान प्रे-
रण पदार्थाला तिरकस करितें तें मोडितें. जर भ्रमणाची गति फारच
त्वरित असली तर हीं समोरासमोरचीं प्ररणें एका कालींच क्रिया करू-
न परस्परांस मोडितात अशा लागोपाठ त्वरेने येतात.

भाग ९

Machinical agent

शिल्पसाधन रूपाने घेतलेल्या पाण्याविषयीं



(४७) पाणी कोणत्या एका समान स्थलापासून खालच्या स्थ-
लाकडे पडत असतां त्याचे पतनावस्थेंतलें वजन शिल्पसाधनरूपाने
घेतलें आहे. या प्रकारें घेण्याविषयीं वरच्या स्थलांत पाण्याचा पूर्ण संग्र-
ह आणि खालचे स्थलांत पाण्याचा संचयाने दोन्हीं स्थलांतल्या पाण्या-
ची समता न होई अशी त्या स्थलापासून पाण्यास बाहेर न्यावयाची
युक्ति इतकें मात्र केलें पाहिजे. या पाण्याचे शक्तीने अन्य यंत्राचेठायीं
नानाप्रकारचा गति उत्पन्न करावयाविषयीं मुख्य साधन बहूत करून
चक्र आहे. त्याचे अर्धव्यासावर काटकोनाचे जितकी जवळ दिशा हो-
ईल त्या दिशेंत चक्राचे घेरावर पडताना पाण्याचें वजन क्रिया करि-
तें तें पुनः एकाबाजूवर मात्र क्रिया करितें. या पाण्याचे शक्तीने जीं च-

क्रें

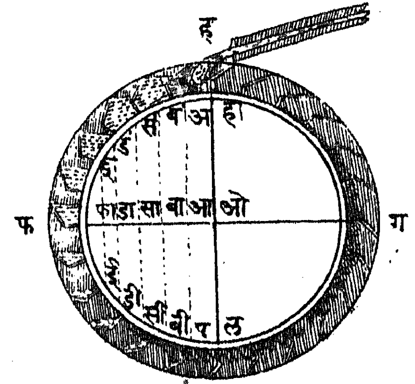
overshot wheel

कें चालविलीं आहेत तीं दोहों जातीचीं आहेत. एक "ऊर्ध्वाहतचक्र" आणि दुसरें "पार्श्वाहतचक्र."

breast wheel

ऊर्ध्वाहतचक्राचा व्यास वरच्वें पाणी आणि खालच्वें पाणी यां मध्यें जें अंतर आहे त्या अंतरापेक्षां थोडका कमी आहे. या चक्राचे आंसावर काटकोन आहे असें त्याचें छिन्नांग (१९) आकृतींत दाखविलें आहे. या चक्राचे कडेवर डोल्यासारिखे आशय केले आहेत. ते (ह) या वरच्या स्थलापासून जसें जसें पाणी पडतें तसें तसें त्याला घेत असतात आणि जे आशय (हा) या चक्राचे माथ्यापासून (फग) या आडव्या व्यासाच्या (फ) शेवटापर्यंत आहेत ते सतत पाण्याने भरले असतात. आणि (फ) पासून जेथे आशयांची बाजू सरळ रेषेंत होती अशा (ए) या बिंदूपर्यंत जे आशय आहेत ते थोडे थोडे रिकामे असतात. आणि (ए) पासून (ल) या सर्वांहून खालच्या बिंदूपर्यंत जे आहेत ते रिकामे असतात. (हा ल) या लंब

(आ. १९)



व्यासाचे (ग) या बाजूकडे जे आशय आहेत ते तर सर्व रिकामे असतील हें स्पष्ट आहे.

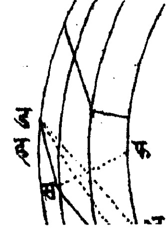
अशा अवस्थेंत आशयांतील पाण्याचे वजनाने तें चक्र फिरतें कारण तें वजन (हा फ ल) या चक्राचे बाजूवर संपूर्णत्वाने क्रिया करितें आणि दुसऱ्या बाजूवर समान वजन नाहीं ह्मणून तें तोलून धरलें जात नाहीं. आणि (ह) या वरचे समान स्थलापासून जोंपर्यंत पाणी पडत आहे तोंपर्यंत तें चक्र सतत फिरतें. प्रत्येका आशयांतील पाण्याचीं वजनें चक्रास फिरवण्याविषयीं एकसारखीं कारणभूत होत नाहींत असें सवघडपणाने पाहतां येईल. (हा) या वरच्या आशयांत पाणी भरलें असतां त्याचें वजन

न (ओ) आंसावर (हा ओ) या दिशेनें चेपितें परंतु तें वजन चक्राचे आधाराने संभाळलें जातें यास्तव तें चक्राला कांहींच गति देत नाहीं. आतां (अ ब स) इत्यादि प्रत्येक आशाय जे त्यांपासून (अ आ) (ब बा) (स सा) इत्यादि रेषा (फ ग) या आडव्या व्यासावर लंब काढिल्या आहेत असें कल्पावें. (अ) या आशायांतील पाण्याचें वजन (आ ओ) या तरफेने (आ) यावर क्रिया करीत असतां त्यास जसें कर्तृत्व असेल तसेंच कर्तृत्व चक्र फिरविण्याविषयीं एथे त्या वजनाला आहे. याच रीतीने (ब स ड इ) या प्रत्येका आशायांतील पाण्याचे वजनाला (बा सा डा फा) या बिंदूवर क्रिया करीत असतां जसें कर्तृत्व असेल तसेंच कर्तृत्व एथे आहे. आतां (ओ) या केंद्रापासून कोणीएक वजन जसें जसें दूर क्रिया करितें तसें तसें त्याचे आंगीं चक्र फिरवण्याविषयीं अधिक कर्तृत्व येतें हें फार स्पष्ट आहे. यास्तव (फ) जवळचा आशायांतलें पाणी (हा) जवळचे आशायांतल्या पाण्यापेक्षां कर्तृत्वांत प्रमाणाने अधिक आहे. या प्रमाणेच (ई डी सी) या आंशायांविषयीं समजावें आडव्या व्यासाचे (फ) शेवटापासून जसे जसे प्रत्येक आशाय खालीं येतात तसें तसें पाणी बाहेर पडूं लागतें. यास्तव (ई डी सी) हे आशाय (इ ड स) या नीट समोरच्या आशायांपेक्षां जसें जसें त्यांतल्या पाण्याचें वजन कमी आहे तसें तसें कार्य कमी करितात.

यांत्रिक लोकांनी ऊर्ध्वाहतजलचक्राची शक्ति वाढवायासाठीं ते आशाय (ल) बिंदूपर्यंत येताना त्यांत पाणी जसें अधिक ठरेल आणि (ल) यांचे पलीकडे गेल्यावर त्यांत पाणी कांहीं नराही अशा आकाराचे आशाय निर्माण करण्याविषयीं त्याणी फार लक्ष्य ठेविलें. प्रत्येक आशाय (ल) या बिंदूवर आला असतां रिकामा व्हावा असें अवश्य आहे परंतु जितका त्याचे जवळ येताना भरलेला राहील तसें करावें. हें सिद्ध करायास

स आशयांस नानाप्रकारचे आकार सांगीतले आहेत. जो आकार प्रायः सर्वांहून चांगला आढळला तो (२०) आकृतींत दाखविला आहे.

हा आशय तीन पृष्ठांनी केला आहे. (अ ब) हें पृष्ठ चक्राचे अर्धव्यासाचे दिशेंत आहे. याला "फांदा" किंवा "खांदा" ह्मणतात. (ब स) या पृष्ठास "भुज" ह्मणतात. आणि (स ह) या पृष्ठास "मनगट" ह्मणतात. हे आशय असे केले आहेत कीं जेव्हां (अ ब) हें पृष्ठ चक्राचे लंब (आ. २०) व्यासाशीं (२९°) अंशांचा कोण करितें तेव्हां (अ ड) ही रेषा आडवी असती. आणि (अ ड स ब) या आकृतीचें क्षेत्रफल (फ स ब अ) याशीं समान आहे ह्मणजे जितकें पाणी (फ स ब अ) या आग्यांत रहातें तितकेंच पाणी आशयाचे वर सांगितलेल्या स्थितींत राहील. जोंपर्यंत (सड) ही बाजू आडवी होई तों पर्यंत त्यांतलें पाणी निःशेष होत नाहीं. आणि (ल) बिंदूचे फारजवळ (अ ब) ही रेषा आली असतां आडवी होऊन सर्व पाणी बाहेर आतें.



सर्व खालीं येणारे आशय भरलेले राखावयास यत्न कर आंसाचे आधारावर चेपण अधिक होऊन तें घर्षणाचे योगाने अ ध उत्पन्न करील हें ध्यानांत ठेवावें. आणि चक्राचा वरचा आणि खाल सून असा कोणीएक भाग आहे कीं जांत खालीं येणाऱ्या आशयांतलें गतीस निश्चित अडचण करितें. वरचा आणि खालचा असे दोन आश चा शेवटल्या प्रकारांचा उपक्रम पहिल्याने केला असतां ती कर ध्यानांत येईल. जर हे दोन्ही आशय भरले आहेत तर ण्याचा वजनाला पूर्वोक्त रीतिप्रमाणें चक्र फिरवण्याविषयं तृत्व होणार नाहीं आणि तीं आंसाचे आधारावर सर्व बला आणि घर्षण (friction) लंबांचे चेपणाचे प्रमाणांत आहे ह्मणून तें वा

ळें खालीं येणाऱ्या आशयांतील पाण्याचे कर्तृत्वास अधिक प्रतिरोध होईल. यावरून वरचा आणि खालचा आशयांतलें पाणी चक्राचे गतीस निश्चित प्रतिरोध आहे असें दिसतें. आतां वरचा आणि खालचा बिंदूचे जवळचे (अ ए) हे दोन आशय भरलेले आहेत असें कल्पिलें असतां दोन कार्यें उत्पन्न होतील ह्मणजे आंसावर अधिक चेपण होऊन अधिक प्रतिरोध उत्पन्न होईल आणि (अ ओ) या तरफपणाने चालकबल क्रिया करील. परंतु (अ ए) हे आशय वरचा आणि खालचा बिंदूचे फार जवळ आहेत ह्मणून (अ ओ) ही तरफ फार लहान होईल आणि आंसावरील वाढलेलें चेपण फार मोठें होईल. त्यामुळें जें चालकबल मिळालें आहे त्यापेक्षां वाढलेला प्रतिरोध अधिक होऊन शक्तीचा तोटा होईल.

वरचा आणि खालचा बिंदूपासून कोणीएक भाग आहेत. त्याचा शेवटीं आशयांतील पाण्याचें चालकबल ह्मणजे चालकशक्ति पाण्याचे वजनाने जें घर्षण उत्पन्न होतें त्याचे निरोधाशीं समानमात्र आहे असें पूर्वोक्त विचारावरून स्पष्ट आहे. वरचा आणि खालचा बिंदूपासून जे भाग आहेत त्यांत भरलेला आशय त्या शक्तीला निश्चित कमी करण्याविषयीं कारण होतो आणि या मर्यादेचे बाहेर यत्किंचित् गेला असतांही फारसा लाभ होत नाहीं.

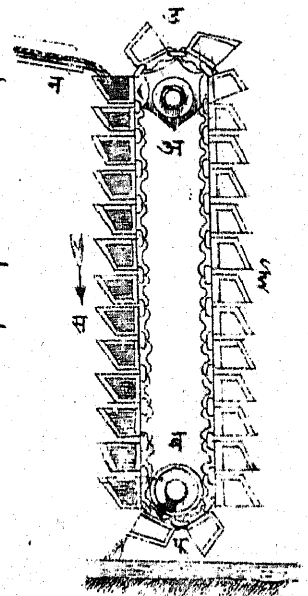
सर्वांहून मोठें कार्य उत्पन्न करण्याविषयीं एक वेग आहे तेणेकरून ऊर्ध्वाहतचक्र चालविलें जातें. तो आद्यंत मर्यादांचा दोहों विचारावरून स्पष्ट होईल. त्या चक्राला फिरवावयास पाण्याचें वजन असमर्थ होईल अथवा एकअन्य वजन त्या चक्रावर योजिलें असतां तो वेग नाहींसा होतो आणि त्याचें कार्यही नाहींसें होतें. दुसरा विचार पाणी मोकळें असतां जशा त्वरेने पडतें तशा त्वरेने चक्र फिरत आहे असें कल्पिलें असतां आशयांतील पाण्याचे वजनाचें कार्य कांहींएक होणार नाहीं. कारण जसें तें पा-

णी

णी आपाप पडतें त्याप्रकारें ते आशय लवकर खालीं उतरतात. या दोहों विचारांनी दोन मर्यादा दाखविल्या त्या मर्यादांचे मध्यें एक मध्यम वेग आहे तो सर्वांपेक्षां चांगलें कार्य उत्पन्न करितो.

ऊर्ध्वाहत चक्राचा घेराचा वेग एका एका सेकंडास तीन तीन फुटी आहे असा सर्वोत्कृष्ट सामान्य नियम अनुभवावरून स्मिटन् साहेब करितो. हा नियम लहान्या आणि मोठ्या चक्रास समान लागतो तथापि या नियमाची रीति कांहीं सोडून तो असें मानितो कीं मोठीं चक्रें लहान्या चक्रांपेक्षां आपल्या सर्व शक्तीचा प्रमाणांत आपलें कार्य अधिक करितात असें मानितो.

(आ. २१)



(४८) पाण्याचे पतनाची उंची फार आणि पाण्याचा सांठा फार उणा आहे अशा प्रकरणांत (२१) आकृतींत असें दाखविलें आहे तशी युक्ति बहुतकरून उपयोगांत घ्यावयास चांगली आहे.

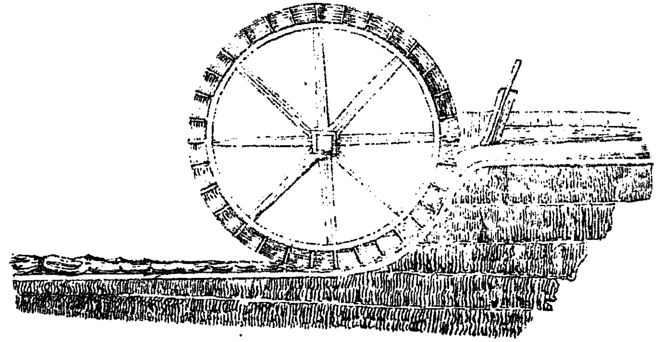
मालाकार सांखळी (स फ ई ड) या आशयपंक्तीस वाहणारी असून (अ ब) या दोहों चक्रांवर फिरती ठेविली आहे. या चक्रांस "ग्राहकचक्रें" * ह्मणतात. (न) या स्थलीं सर्वांहून वरचा आशयांत पाणी पडतें. आणि जेव्हां तो आशय खालीं उतरतो तेव्हां त्याचे पुढचा (ड) हा आशय त्याचा जागीं येऊन तोही भरला जातो. याप्रकारें प्रत्येक आशय (स) या बाजूवर भरले जातात आणि (ई) या बाजूचे अधोमुख आशय रिकामे आहेत ह्मणून आशयांची सांखळी पाण्याचे वजनाने (स फ ई ड) या मार्गांत सतत फिरविली जाती.

---

* ग्राहकचक्रें ह्म० ज्याचे धांवेवर माल अडकण्याविषयीं दांते आहेत.

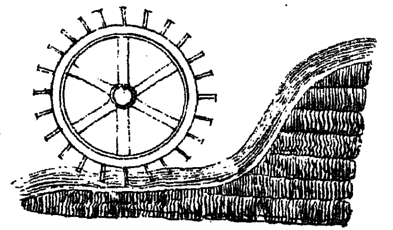
(४९) पार्श्वाहतचक्र हें एक इतर साधन आहे. याचे योगाने पाण्याचें वजन शिल्पसाधनासाठीं घेतलें आहे. या चक्राचे कडेवर सपाट फळ्या लाविल्या आहेत. त्यांस "तरत्याफळ्या" ह्मणतात. त्यांचीं पृष्ठें चक्राचे पृष्ठावर काटकोनांत असून त्याचे अर्धव्यासाचे दिशेंत आहेत आडव्या व्यासाचे शेवटाजवळचा कोणीएका बिंदूकडे पाणी सोडिलें आहे. चक्राचा तरत्याफळ्या जा मार्गांत चक्र फिरतें त्या मार्गाचे बाजूशीं अशा अंतराने ठेविल्या आहेत कीं चक्र फिरायास मात्र त्या मार्गांत अंतर असतें जसें (२२) आकृतींत दाखविलें आहे. तरत्याफळ्या आणि चक्रमार्ग यांमध्यें पाणी धरलें जातें आणि तें पाणी आपल्या वजनाचे योगाने चक्राचा सर्वांहून खालचा बिंदूचे जवळ येई पर्यंत क्रिया करितें.

(आ· २२)



(५०) अधराहतचक्र हें पाण्याचें चालकत्व ह्मणजे चालकशक्ति केवल हिचा योगाने चालू केलें आहे. आणि तें चक्र पाण्याचे वजनापासून अगदीं मोकळें आहे. पार्श्वाहतचक्राला जशा तरत्याफळ्या लाविल्या आहेत तशा यासही आहेत. त्या फळ्यांवर चक्राचे खालचे भागाकडे उतरत्या पाटाने पाणी सोडिलें आहे जसें (२३) आकृतींत दाखविलें आहे.

(आ· २३)



या चक्राची क्रिया चक्रमार्गांतील पाण्याचें परिमाण आणि उतरत्या फळ्यांवर जा वेगाने पाणी आदळतें तो वे-

ग या दोहोंचे स्वाधीन आहे. आणि तो वेग पतनाचे उंचीचे स्वाधीन आहे.म्ह- णून ती उंची जितकी वाढवितां येईल तितकी वाढवावी.

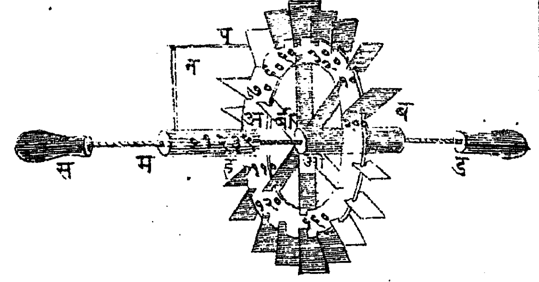
या चक्राचा जा तरत्याफळ्या सांगीतल्या त्यांचे उत्तम संख्येविष- यीं शिल्पशास्त्रज्ञांचे मतभेद फार आहेत. जेव्हां चक्राचा वेग ज्ञात आ- हे तेव्हां सर्वांहून मोठें कार्य उत्पन्न करण्याविषयीं तरत्याफळ्यांची संख्या अमुक असावी असें बासु साहेब दाखवितो. परंतु शिल्पिलोकांचे उपयो- गीं पडण्याविषयीं तो नियम सोपा नाहीं. चक्राचे कडेची बळकटी जशी असेल त्या प्रमाणे सुखाने जितक्या अधिक फळ्या लावितां येतील ति- तक्या त्या चक्रास लावाव्या असें सामान्यतः सांगीतलें आहे. परंतु च- क्रास त्यांचे वजनाने फार भार पडूं नये इतकें सांभाळावें. फळ्यांचे अति अल्प संख्येपासून जो नाश होतो तो फार मोठ्या संख्येने जो नाश व्हा- वयाचा त्याहून फार अधिक आहे.

(९१) अधराहतचक्रावर जी प्रवाहाची शक्ति आहे तिचा मोजण्या- विषयीं प्रवाहाचा वेग आणि वाहणाऱ्या पाण्याचें परिमाण बहुतकरून मोजिलें पाहिजे. प्रवाहाचा वेग मोजण्याविषयीं पुष्कळ रीति दाखविल्या आहेत. त्यांतून एक फार सोपी आहे ती दाखवितो. प्रवाहाचे लंबरेषेंत उ- भय तिरांवर इच्छित अंतराने दोन दोर ताणावे आणि वरचा दोराचा कां- ठीसा वरून एक हलका तरणारा पदार्थ प्रवाहांत सोडावा आणि जें घ- ड्याळ अर्ध किंवा पाव सेकंडांवर ठोकितें आहे तेणेकरून प्रत्येका दोरा- खालून त्याचे येण्याचे क्षण मोजावे. अशा युक्तीने एका दोरापासून दु- सऱ्या दोरापर्यंत त्या तरणाऱ्या पदार्थाचे आक्रमणाचा काल ज्ञात होई- ल आणि दोहों दोरांमधील अंतर मोजण्याने जा मानाने तो पदार्थ प्रवा- हासहवर्तमान गेला तें मान मिळेल. तेंच प्रवाहाचा वेग आहे.

(२४) आकृतींत दाखविलें आहे त्याप्रमाणे जास तरत्याफळ्या

लाविल्या आहेत अशा लहान चक्राचा योगाने प्रवाहाचा वेग मोजिला आहे. ही रीति पूर्व रीतीपेक्षां चांगली आहे. हें चक्र सुमारें एक फुट व्यासाचें आहे आणि याचे (ब बी) या आसांमधून पार झालेलें (अ बी) हें मळसूत्र आहे. यावर तें चक्र चालतें. आणि या तरत्याफळ्या प्रवाहाचा वेगाने प्रेरिल्या

(आ. २४)



असतां (बबी) हा आंस (अबी) या मळसूत्रावर फिरत फिरत (ड) या स्थलाजवळ जवळ येतो आणि मळसूत्राचा सूताचा एका एका पेंचांत त्या चक्राचा एक एक फेरा होऊन चक्र पुढें चालतें. (ओह) हा सूचक फिरत्या आंसास (ओ) या आगीं जोडिला आहे आणि जेव्हां तें चक्र आपल्या गतीला आरंभितें. तेव्हां सूचकाचें अग्र (म अ) या अचल मापकावरशू न्यापाशीं असतें. आणि जसें जसें चक्र (ड) या स्थलाकडे जातें तसा तसा त्या चक्राचा प्रत्येक फेरा (ओह) या सूचकाला चिन्हित मापकाचे एका एका भागावर नेतो. तेणेकरून कोणीएका कालांत चक्राचे जितके फेरे होतात ते सर्व कळूं येतात. दुसरा एक (मनप) हा सूचक गुण्याचा आकाराचा आहे. तो चक्राचे फेऱ्याचे भाग दाखवितो. गतीचा प्रारंभीं (प) हें सूचकाचें अग्र चक्राचा चिन्हित कडेचा (०) शून्य भागावर योजिलें आहे.

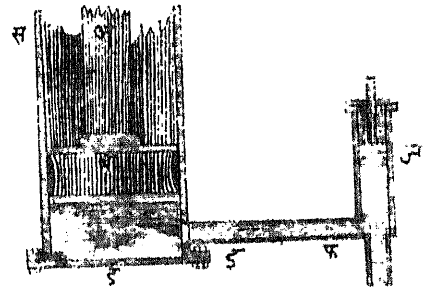
सांगितलेल्या कालांत चक्राचे जितके फेरे आणि एका फेऱ्यांचे जितके अंश झाले असतील तिहींकरून चक्राचा घेर गुणावा. म्हणजे जा वेगाने चक्र फिरतें तो वेग ज्ञात होईल.

(९२) सर्व प्रवाही पदार्थांप्रमाणे पाण्याचा आंगीं प्रत्येका दिशेंत

सारखें

सारखें चेपण पोंचविण्याची शक्ति आहे. ती पाण्याचा तिसरा गुण आहे. तिचे योगाने पाणी शिल्पसाधन होतें. जर पाणी कोणीएका पात्रांत बंद करून त्या पाण्याचा एक वर्गइंच * प्रमाण पृष्ठावर कोणीएका मानाचें चेपण ठेविलें असतां जा पात्रांत पाणी बंद केलें आहे त्या पात्राचे प्रत्येका वर्गइंच पृष्ठावर त्याच मानाने चेपण घडतें.

(आ. २५)



शिल्पसाधनाविषयीं या गुणाचा उपयोगाचीं फार चमत्कारिक उदाहरणें आहेत. त्यांतील ब्रामा साहेबाचे जलस्थिरविज्ञानीय दमनयंत्र एक उदाहरण आहे. याचें मूलकारण फार सोपें आहे. हें यंत्र (२५) आकृतींत दाखविलें आहे. (अब) हा भरींव दट्टा (सड) या सिलिंडरांत + घट्टपणे जाईल असा केला आहे. दट्टयाचे खालच्या सिलिंडरांतला प्रदेश पाण्याने भरला आहे आणि सिलिंडर (ईफ) या नळीने एका लहान संकोचक ‡ बंबाशीं जोडिलें आहे. या बंबावर (ज) या दट्टयाने क्रिया करितात. या बंबाचे योगाने (सड) या सिलिंडराचे मोठ्या दट्टयाचे खालच्या प्रदेशांत पाणी दडपलें जातें. आतां दोहों दट्टयांमधील सर्व प्रदेश पाण्याने भरला आहे आणि संकोचक बंबाचे (ज) या दट्टयावर एका रतलाचें चेपण योजिलें आहे आणि (ज) या दट्टयाचा व्यास पाव इंच आणि (अब) या दट्टयाचा व्यास एक फुट आहे असें कल्पावें. याप्रकारांत (अब) या दट्टयाचा खालचा तळ जो पाण्याने वर चेपिला आहे तो तळ पाण्याला दडपणाऱ्या (ज) या दट्टया-

---

* वर्गइंच ह्मणजे एकइंच लांबी रुंदीचें क्षेत्रफळ.

† सिलिंडर ह्मणजे पंचपात्राचे आकाराचें एक लांबोडें पात्र आहे आणि अशा आकाराचा भरींव पदार्थासही सिलिंडर ह्मणतात.

‡ संकोचक बंबाचें स्वरूप जलशक्तिविज्ञान आणि वातविज्ञान यांचा निबंधांमध्यें सांगीतलें आहे.

चे तलापेक्षां (२३०४) पट अधिक आहे. आतां चेपण पोंचविण्याविषयीं जो सामान्य गुण सांगितला त्या गुणाने लहान्ये दट्ट्याचे तलाएवढाले जितके मोठ्या दट्ट्याचे तलाचे भाग आहेत त्या प्रत्येका भागावर एकेका रतलाचें चेपण घडेल. सारांश (ज) या लहान्या दट्ट्यावरील एका रतलाचें चेपण (अब) या मोठ्या दट्ट्याचे तलावर (२३०४) रतलांचें चेपण उत्पन्न करितें. यास्तव ज्या द्रव्याने यंत्र निर्मिलें आहे त्या द्रव्याचा बळकटीचे मर्यादेचा उल्लंघन होई तोंपर्यंत लहान्या बलाने जें चेपण योजिलें आहे त्याचें मान वाढवायाविषयीं प्रवाही पदार्थांचा आंगीं अशी शक्ति आहे असें स्पष्ट ज्ञात होतें.

जेथे स्थलाचे स्वाभाविक स्थितीमुळें दोहों यंत्रांचा संबंध सामान्य शिल्परीतीने करितां येत नाहीं अशा प्रसंगीं एका यंत्राची गति आणि बल दुसऱ्या यंत्राकडे सोपेपणाने पोंचवायास प्रवाही पदार्थांचा हा गुण फार चांगला आहे. एणेकरून पाण्याचे केवळ नळानीच उंच नीच प्रदेशावरून अथवा कशाही अडचणींतून कोणतेही लांबीपर्यंत यंत्राचें बल पोंचविलें जातें.

भाग ६

शिल्पसाधन रूपाने घेतलेल्या वायुविषयीं

(९३) वायु आपलें वजन स्थैर्य प्रवाहिता ह्मणजे चेपण पोंचविण्याची शक्ति आणि स्थितिस्थापकत्व या चोहों गुणांचे योगाने शिल्पसाधन होतो.

weight, inertia, fluidity, power of transmitting pressure, elasticity

जा-चा

ज्याचा तल एक वर्गइंच आणि उंची वातावरणाची उंची इतकी अशा वायूच्या खांबाचें वजन सुमारें पंधरा रतल आहे असें वातविज्ञान निबंधाच्या तिसऱ्या भागांत शोधून पाहिलें आहे. यास्तव समान पृष्ठाचे क्षेत्रांत जितक्या वर्गइंचा आहेत त्यांचे पंधरा पट रतलांचें वजन किंवा चेपण तें पृष्ठ धारण करितें असें फलित होतें. एक समान पृष्ठाचा भरींव पदार्थ आहे एथे उदाहरणासाठीं उभ्या सिलिंडरांत योजिलेला तो दट्टा घ्यावा आणि त्याचा खालीं जो पात्रांत प्रतिरोध आहे तो सर्व काढिला असतां त्याचा वरच्या पृष्ठावर जितक्या वर्गइंचा आहेत त्यांचे पंधरापट रतलांचे शिल्पीय चेपणाने तो दट्टा खालीं दडपला जाईल आणि या रीतीने शिल्पसाधन शक्ति, दट्याचे मोठेपणाप्रमाणे प्राप्त होईल.

परंतु या शक्तीस कर्तृत्व प्राप्त होण्याविषयीं प्रवाहिता आणि स्थितिस्थापकत्व हे वायूचे दोन गूण विशेष प्रतिरोध करितात. तो असा प्रवाहिगुण वातावरणाचे वजनापासून जें चेपण उत्पन्न होतें त्याला प्रत्येका दिशेंत समतेने पोंचवितो. तेणेकरून पदार्थांचें समान पृष्ठमात्र प्रतिइंचेस पंधरा रतलांचें चेपण धारण करितें असें नाहीं तर जीं पृष्ठें सर्व दिशांत आणि सर्व स्थितींत आहेत तींही तसेंच चेपण धारण करितात आणि वायु आपल्या स्थितिस्थापक गुणेकरून पदार्थांनीं जो प्रदेश सोडिला आहे त्यांत शिरून स्वतः पसरून त्या प्रदेशाला व्यापितो. यास्तव पूर्वोदाहरणांत जसा वायु पात्रांतील दट्याचेवर आहे तसा एथें दट्याचा खालचा प्रदेशांतही आहे आणि वायूची प्रवाहिता वातावरणाचे वजनापासून जें चेपण उत्पन्न होतें त्यास दट्याचे खालचे पृष्ठाकडे तितक्याच बलाने पोंचविती. त्यामुळें दट्टा समान बलाने वरून आणि खालून चेपला जातो यास्तव शिल्पलाभ कांहीं प्राप्त होत नाहीं.

(९४) वायु प्रवाहितेचे योगाने खालीं वर आडवा किंवा तिरकसकशीही

शीही क्रिया करो परंतु शिल्पसाधनासाठीं जें वायूचें वजन घ्यावयाचें त्या
चा पूर्वीं जा पदार्थावर हें वजन ह्मणजे चेपण याची क्रिया करावयाची आ
हे त्या पदार्थाचे इतर बाजूपासून वायु अवश्य काढिला पाहिजे. सिलिं
डरांतल्या दट्ट्याचा उदाहरणाकडे पुनः लक्ष द्यावें. वायूचें वजन ह्मणजे चे
पण दट्ट्याचा एका बाजूवर कार्य उत्पन्न करीत असतां पूर्वीं दट्ट्याचे इतर
बाजूकडला सिलिंडरांतला वायु बाहेर काढिला पाहिजे. वायूचें निष्का
सन बहुधा शिल्पयोगानें करीत असतात. तशा रीतीनें केले असतां वा
यु काढिल्यानंतर जितकें बल दट्ट्याचे एका बाजूवर वायूचे चेपणानें प्राप्त
होतें तितकें बल इतर बाजूकडल्या वायु काढायास पाहिजे असें स्पष्ट
आहे. उदाहरण दट्ट्याचे खालीं सिलिंडरांतील दोन फुटी अवकाशांतला
वायु शिल्पबळानें काढायाचा आहे असें कल्पावें. तो वायु काढायास सि
लिंडराचे छिद्रांगाचा जितक्या वर्गइंचा आहेत त्या प्रत्येकास पंधरा रत
लांप्रमाणे असें बल पाहिजे आणि वायु काढिल्यानंतर तो दट्टा रिक्तस्थ
लांत तितक्याच बळानें दडपला जाईल.

यास्तव वातावरणाचें चेपण उपयुक्त शिल्पसाधन व्हावें यासाठीं
वायूनें सशेष किंवा निःशेष रिक्त असें स्थल सर्वदा केलें पाहिजे. परं
तु शिल्पयोगानें निःशेषरिक्तस्थल किंवा वातवैरल्य ह्मणजे सशेषरिक्त-
स्थ उत्पन्न केलें असतां शक्तीचा लाभ कांहीं नाहीं. कारण वातावरणा
चे चेपणानें जितकें बल उत्पन्न झालें तितकेंच बल तसें स्थल उत्पन्न क
रायाला सर्वदा पाहिजे. तथापि यंत्र निर्मितीचें प्रयोजन सर्वदां अधि
क शक्ति मिळवावी असेंच नाहीं तर कोणीएका विशेष रीतीनें क्रि
या करणाऱ्या शक्तीपासून जिचा क्रियेची रीति वेगळी आहे आणि
जी कार्यावर शिल्पसाधनत्व रूपानें योजायास पूर्वशक्तिपेक्षां फार यो
ग्य आहे अशी इतर समान शक्ति प्राप्त झाली असतां बहुधा मोठ्या

सोईची

सोईची आणि कोणिएका अर्थाने मोठ्या शिल्पलाभाची गोष्ट आहे. वातावरणाचें चेपण शिल्पयोगाने झालेल्या वैरल्यापासून प्राप्त होतें या सर्व प्रकारामध्यें असाच विचार आहे. अशा प्रकारांत वातावरणाचें चेपण आदिचालक आहे असें जाणूनये वैरल्य उत्पन्न करणारी शक्ति कशीही असो तथापि तिजपासून त्याला कर्तृत्व प्राप्त होतें असें तें मध्यम साधन आहे असें जाणावें. हा प्रकार वातविज्ञान निबंधाचा (४०) कलमांत सामान्यकर्षक बंबाचा प्रकरणांत स्पष्ट होईल. वातावरणाचें चेपण वातविज्ञान विद्येचें बीज आहे परंतु त्यापासून या यंत्रास मूलशिल्पकर्तृत्व प्राप्त होतें या अभिप्रायाने त्या निबंधांत या यंत्राचें विवरण केलें नाहींनर बंबाचे क्रियेंत त्या बीजाचा संबंध शिरला आहे ह्मणून मात्र तेथे विवरण केलें आहे. जी शक्ति त्या दट्ट्यावर क्रिया करिती ती कशीही असो तथापि ती आदिचालक आहे. ही शक्ति आपल्या क्रियेचा आरंभकालीं विहिरींतील पाण्याचें पृष्ट आणि दट्टा यांचा मधल्या प्रदेशांत वैरल्य उत्पन्न करिती. परंतु ती शक्ति निराळी लावली असतां जितकें पाणी उचलायास समर्थ होती तितक्याच पाण्याला वातावरणाचें चेपण विहिरींतील पाण्याचे उघड्या पृष्ठावर क्रिया करीत असतां बंबाचे पात्रांत शिरवितें. वातविज्ञानांतले (४२) कलमांतले विचारावरून हें फार स्पष्ट आहे.

जें कर्षकबंबाविषयीं सांगीतलें आहे तें ज्या प्रकारांत शिल्पहेतुक वैरल्यापासून वातावरणाचें वजन कर्तृत्व पावतें त्या सर्व प्रकारांत सामान्यतः योजिलें जातें. यथार्थ पाहिलें असतां वातावरणाचें वजन आदिचालक आहे असें सर्वथा ह्मणतां येत नाहीं जें वातवैरल्यास उत्पन्न करितें तें कारण शिल्पी किंवा दुसऱ्या जातीचें कोणतें कसेंही असो तथापि तें आदिचालक आहे.

(६६) वायु गतिमान असतां त्याचे मार्गांत अडचण करणारा जो

अप्रवाही

अप्रवाहीपदार्थ आहे त्यावर आपल्या स्थैर्य गुणाचा योगाने बल पेरितोषा तविज्ञानाचा (९) कलमांत पहावें जलचक्रांविषयीं असें पाणी तसें हें बल आदिचालकरूपाने घेतलें आहे ह्मणजे सपाट पृष्ठांवर वायु थडकत असतां त्याचा योगाने तीं पृष्ठें केंद्रावर वर्तुल गतीने फिरतात. ही गति एकवार उत्पन्न झाली असतां यंत्राचे योगेकरून सोपेपणाने अन्यत्र नेतां येती आणि तिस रूपांतरही देतां येतें आणि पाहिजे त्या लक्ष्यावर योजितां येती.

अधराहत जलचक्राचा तरत्या फळ्यांप्रमाणे पवन चक्राचीं शिडें योजिलीं असतां त्या चक्राचें पृष्ठ वायूचे दिशेंत ठेविलें पाहिजे आणि चक्राचा अर्धभाग वायूचे क्रियेपासून आच्छादिला पाहिजे अन्यथा समान बलें चक्राला समोरासमोरचे दिशेंत फिरवायास प्रवृत्त होतील त्यामुळें कांहींच गति उत्पन्न होणार नाहीं. शिडांचीं पृष्ठें वायूचे दिशेचे जवळ असलीं तर त्यांवर वायु क्रिया करीत असतां त्यापासून लाभ अल्प होईल. यास्तव असल्या जातीचीं पवनचक्रें बहुतकरून कामांत घेत नाहींत. आणि ज्यांस शिडें लावलीं आहेत ते चक्राचे भुज वायूकडील पृष्ठांत फिरतात अशा रचनेंत जर शिडें भुजांचे पृष्ठांत असलीं तर वायु लंबतेने त्यांवर लागून जांत भुजाला फिरवण्याविषयीं उद्देश आहे त्या सपाटीवर लंबांत त्याला इमारतीसुद्धां तुस्ता चेपील. आतां जा सपाटीवर चक्राचे भुज फिरतात तिवर शिडें लंब असतां त्यांचा धारा वायूकडे होतील ह्मणून तीं कांहीं वायूचा प्रतिरोध करणार नाहींत त्यामुळे कांहीं गति होणार नाहीं. यास्तव त्या चक्राला फिरवण्याविषयीं जा सपाटीवर भुज फिरतात ती सपाटी आणि वायूची दिशा यांचे मधील कोणीएका दिशेंत तीं शिडें ठेविलीं पाहिजेत.

मोठे सुज्ञ परीक्षक आणि उत्तम प्रकारें शिक्षामाला जाणणारे अशा पुरुषांनी सर्वांहून चांगलें कार्य उत्पन्न करण्याविषयीं पवनचक्रांचे शिडांसंजी स्थिति यावयाची ती ठरावायास अनुभूत आणि शास्त्रीयशोध ठेविले आहेत.

हेत. या अवघड गोष्टीविषयीं बहुतेक सिद्धांतिहिशेब आहेत परंतु त्याचा कारणभूत कल्पना अनुभवास येत नाहींत ह्मणून ते बिघडले आहेत. जा कोनाने शिडांचीं पृष्ठें गतीचे आंसाला ह्मणजे वायूचे दिशेला तिरकस लावलीं आतात तो कोण सर्वांहून चांगला आहे असा पेरंट साहेबाने आणि इतर साहेबांनी शिक्षामालेचा गणितापासून सिद्ध केला परंतु स्मिटनूसाहेबाचे परीक्षेंत हा कोण सर्वांहून वाईट असें ठरलें. पेरंटसाहेबाने जी स्थिति ठरविली ती गतीचा प्रारंभी सर्वांहून चांगली आहे परंतु शिडें स्थिर असतां वायु त्यावर थडकतो अशा कल्पनेने त्याणे हिशेब केला यास्तव ती स्थिति चक्राची क्रिया सतत चालवायास उपयुक्त नाहीं.

गतिमंत शिडांवर जेव्हां वायु क्रिया करितो तेव्हां शिडांचा आणिवायूचा वेग हिशेबांत अगत्य घेतला पाहिजे कारण जर तें शीड वायूशीं समान वेगाने वायूचेपुढें चाललें तर कांहीं कार्य उत्पन्न होणार नाहीं. तें कार्य वेगांचे अंतराचे स्वाधीन आहे. तें अंतर जितक्या बलाने वायु शिडावर क्रिया करितो तें बल आहे. आतां वायूकडील शिडाचा तिरकसपणा जा बलाने वायु शिडांवर क्रिया करितो त्या बलाचे स्वाधीन आहे. आणि जे शिडांचे भाग गतीचे केंद्राजवळ आहेत ते जे भाग त्या केंद्रापासून लांब आहेत त्यांपेक्षां फार हळू चालतात. याजवरून वर्तूलगतीचा केंद्रापासून निनिराळ्या लांबींवर शिडाचा स्थिति निर्निराळ्या असाव्या असें सिद्ध होतें. मोठ्या प्रमाणाचा बहुतेक परीक्षांवरून स्मिटन् साहेबाने असा सिद्धांत केला कीं पुढें सांगायाचा स्थिति सर्वांहून प्रायः चांगल्या आहेत. * आतां अर्धव्यास समान सहा भाग केले आहेत असें कल्पावें आणि त्या भागांला

---

* पक्ष्यांचे पिसांची जी रचना आहे ती पवनचक्रांचे शिडांची जी सर्वांहून चांगली रचना आहे तिशीं तुल्य आहे. हें फार चमत्कारिक आहे. सृष्टींतील जे सर्व सिद्ध पदार्थ आहेत ते शिक्षामालेचे मूलकारणाप्रमाणे केले आहेत. त्यांतील हें एक चांगलें उदाहरण आहे.

केंद्रापासून एकादि संज्ञा ठेवाव्या.

अंक	आंसापासून कोण	गतीचा पृष्ठाशीं कोण
१	७२	१८
२	७१	१९
३	७२	१८
४	७४	१६
५	७७ १/२	१२ १/२
६	८३	७

(९६) स्थितिस्थापकत्व गुणाच्या योगाने वायु शिल्पसाधन होतो. ह्मणून सांगीतलें त्या गुणाचे स्वभाव आणि जा नियमांनी तो क्रिया करितो ते नियम यांचें विवरण वात विज्ञानाचा निबंधाचा चवथ्या भागांत केलें आहे. हा गुण शिल्पसाधन आहे असें मानिलें असतां वातावरणाचें वजन ह्मणजे चेपण यांविषयीं जें विवरण केलें तेणें करून या गुणाचेंही प्रायः विवरण होतें. वायूचा स्थितिस्थापकत्व बलास कर्तृत्व द्यावयास वातावरणाचे वजनापेक्षां त्या बलास अवश्य अधिक केलें पाहिजे कारण पूर्वीं सांगितलेल्या प्रमाणे सर्व पदार्थ सामान्य स्थितींत असतां त्यांवर वातावरणाचें चेपण असतें वायूच्या स्थितिस्थापक गुण शिल्पयोगाने वाढावयाच्या असतां वायूवर दमन किंवा संकोचन योजावें. यद्यपि या प्रकारांत शक्तीचा लाभ कांहीं होणार नाहीं कारण वायूचे सांगीतलेल्या मानांत संकोचाचें सांगीतलेलें मान उत्पन्न करायाला जितकी शक्ति पाहिजे त्या शक्तीशीं समान वाढविलेलें स्थितिस्थापकत्व संकोचित वायूस प्राप्त होतें. या प्रकारांत वातावरणाचे चेपणाचा जसा सामान्यतः उपयोग आहे त्या प्रमाणे शिल्पसंकोचाचे योगाने यद्यपि शक्तीचा लाभ कांहीं नाहीं तथापि यापासून फार लाभ प्राप्त होईल. तो असा आहे एक शक्ति दुसऱ्या शक्तीकडे पाठविणे आणि एका लहान्या शक्तीपासून वारंवार उत्पन्न झालेलीं अनेक कार्यें एकत्र जमवून त्यांस बळकट आणि सतत असें चेपणाचें रूप द्यायाची रीति प्राप्त होती. या प्रकाराचें उदाहरण एर्गन ह्मणजे वाऱ्याची बंदुक आहे

हे. तें वातविज्ञानाचे निबंधांतील (५२) कलमांत सांगीतलें आहे. केवलशारीर बलानें गोळी सोडायास यत्न केला असतां त्या यत्नाने तादृश कार्य उत्पन्न होणार नाहीं परंतु अनेका प्रेरणांनी मिळालेल्या बलांचें एक बल जमवायास सामर्थ्य असलें तर इच्छानुरूप कार्य करितां येतें. एर्गनाचायोगाने मनुष्यांचीनिनिराळीं अनेक बलें एकत्र जमलीं आहेत आणि तीं सर्व एकाकालीं क्रिया करितात. वायूस संकोचित करायाची जी कृति आहे ती उत्तरोत्तर उत्पन्न जीं अनेक शारीर बलें त्यांचा योगानें होत असती आणि अशा रीतीनें संकोच पावला जो वायु त्यास जें स्थितिस्थापकत्वबल प्राप्त होतें तें मनुष्याचे अनेका बलांचे बेरीजेशीं समान आहे. त्या बलाचा आशय एर्गन आहे. यांत जांचें एकवटलेलें मान कोणीएका क्षणीं गोळ्यास किंवा इतर पदार्थास प्रेरायास लावलें जातें अशी हीं निर्निराळीं बलें मावलीं आहेत.

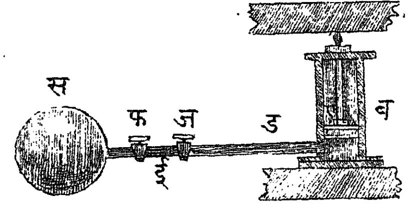
या विषयांत तात्कालिक कार्याची उत्पत्ति करणारें असें फार मोटें बल उत्पन्न करायास इच्छा आहे. वायूचा स्थितिस्थापकत्व गुण गमनापसरण क्रियेपासून एक सतत आणि सारखी अशी क्रिया उत्पन्न करायासही कधीं घेतला आहे. जें अग्निशामक यंत्र वातविज्ञानाचे निबंधांतील (४८) कलमांत सांगीतलें आहे तें यांतला एक प्रकार आहे. जा वेळेस दट्ट्यावर क्रिया करणारें बल गमनापसरण जातीचें आहे त्या वेळेस गमनापसरण बलानें संकोचित केलेल्या वाताशयांतील वायूचें चेपण समान क्रिया करितें. ती क्रिया दट्ट्यावर जीं अनेक बलें दडपायाची क्रिया करीत असतात त्यांचे बेरीजेशीं समान आहे. hydrostatic press

ब्रामासाहेबाचे जलस्थिरविज्ञानीयदमनयंत्राचें मूल कारणासारिखें संकोचित वायूचें बल मोटें आणि सतत चेपण उत्पन्न करायास कारण आहे. (आकृति २६) हींत (ब) हें सिलिंडर आहे यांत एक भरींव दट्टा घट्ट सरत असतो. (ड ई) ही एक लहान नळी आहे. तिला (ज) या स्थलीं एक प्रति-

बंधक

बंधक गुडदी * आहे आणि (ई) यास्थलीं मळसूत्राने मर्यादा केली आहे (स)

(आ. २६)



हा धातूचा पोकळ गोळा मोठें अंतर्दमन सोसायास समर्थ असा आहे. यास एक लहान नळी आहे. या नळीस (ई) या स्थलीं मळसूत्राने मर्यादा केली आहे. त्या मळसूत्राने (ड ई) या नळीस किंवा संकोचकास पाहिजे तेव्हां तो गोळा जोडितां येतो. आणि त्या नळीला (फ) यास्थलीं प्रतिबंधकगुडदी लावली आहे. हा संकोचकवातविज्ञानाचे निबंधांतील (३८) कलमांत स्पष्ट आहे.

(ई) यावर मळसूत्राने बसविलेल्या संकोचकाचे योगाने (फ) ही गुडदी उघडून बंद केली असतां तिला चार खंडीपेक्षां अधिक वजनाचे बळाने वायु चेपीरू तोंपर्यंत (स) या गोळ्यांत वायु दाबून भरावा. (फ) ही गुडदी बंद केली आहे ह्मणून (ई) यापासून संकोचक काढिला असतांही वायूचाने बाहेर निघवत नाहीं (स फ ई) ही गोळ्यासहवर्तमान नळी (ड ई) या नळींत बसवावी. नंतर (फ)आणि(ज) या दोन गुडद्या उघडल्या असतां संकोचित वायु (ड) या नळींतून पसरून सिलिंडराचे दट्ट्याचे खालचे भागांत शिरतो. नंतर संकोचित वायूचें स्थितिस्थापकत्वबल वातावरणाचे वजनापेक्षां चार खंडी अधिक बळाने गुडद्यांवर चेपितें. असें असलें तर (ड) या नळीचे छिन्नांगापेक्षां जितकेपट दट्ट्याचें छिन्नांग आहे तितकेपट चार खंड्यांचें चेपण (ए) या दट्ट्यावर होतें नळीचे छिन्नांगाचा व्यास पावइंच आणि दट्ट्याचा एक फूट आहे असें कल्पावें. तेव्हां दट्ट्यावरील चेपण (९२ १६) खंड्यांचें होईल.

पहिल्या सर्व प्रकारां प्रमाणें या प्रकारांत शिल्पबल जमवायास वा-

* गुडदी ह्मः इच्छानुरूप उघडणारे व बंद करणारें असें एक झांकण आहे.

यु सोईचें साधन मात्र आहे. वास्तविक पाहिलें असतां वायु आदिचालकआहे असें मानुं नये ज्या कारणानें रिक्तता किंवा वैरल्य उत्पन्न करून वातावरणाचें वजन किंवा चेपण काम करण्याविषयीं योग्य केलें आहे तें कारण कसेंही असो परंतु आदिचालक आहे असें पूर्वीं मानिलें तसें एथे ज्या साधनानें वायूचे स्थितिस्थापकत्वबल शिल्पसाधन रूपानें कामांत घेण्याविषयीं वायूस पाहिजे तितक्यामानाचें स्थितिस्थापकत्व देतां येतें तें साधन कसेंही असो परंतु खरें आदिचालक आहे असें मानितो. या पूर्वोक्त कारणावरून उष्णता आदिचालकाचे वर्गांत मोठ्या पदवीची आहे असें पुढें ज्ञान होईल.

भाग ७

Animal Strength

जीवांचा बलाविषयीं

---

(५६) जीवाचें बल सर्व आदिचालकामध्यें स्पष्ट आणि सर्वांहून पूर्वींचें आदिचालक आहे. परंतु सर्व आदिचालकांहून हें कर्तृत्वांत प्रायः कमी आहे.

जीवांचें मूलकारण आणि स्वभाव यांचा अज्ञानामुळें जीवांचाबलाविषयीं जे नियम आहेत त्यांचें विद्येचा मूलकारणानें वर्णन करायास यत्न चालत नाहीं. आणि या बलाचा स्वभाव भेदक आहे ह्मणजे यापासून जीं कार्यें उपलब्ध होतात त्यामध्यें व्यक्तिभेदेंकरून किंवा एका व्यक्तीचेठायीं अल्पकालाचा अंतरानें भेद उत्पन्न होतात यास्तव त्याचीं जीं स्वाभाविक कारणें आहेत त्यांचा अनुभवेंकरून किंवा परीक्षेनें शोध किंवा वर्णन

करितां

करितां येत नाहीं. परंतु सृष्टीचें साधर्म्य आणि तिचे क्रियेचें सौंदर्य व नियमआ-
णि अविरोध आहे. यास्तव हें बलही इतर बलांप्रमाणे स्थिर नियमांनी ठरवि-
लें असेल असें अनुमान होतें.

जीवांचा बलांचें वर्णन सहज करायासाठीं जीवांचे जे प्रत्येक यत्न आ-
हेत ते कोणीएक वजन उचलायास जें बल लागतें त्या बलाने दाखविले जात-
त असें मानितो. आणि कोणीएक वजन कोणीएका वेगानें चालविलें आ-
हे तें वजन जें बल कोणत्याही रीतीने उपयोगांत आणिलें आहे त्या बलाशीं
समान आहे असें कल्पायास अवघड नाहीं.

या रीतीने जीवांचा बलाचा यत्न मोजायास एक नियम स्पष्ट आहे.
तो असा इतर कांहीं भेद नसतां जसें जसें वजन वाढवावें तसा तसा जीवा-
चा वेग कमी होत असतो. जीवांचा व्यापार एक सारिखा रहावयासाठीं
वजन नियमाने वाढवून वेग कोणत्या प्रमाणाने कमी करावा हें ठरवायास
अवघड आहे. याविषयीं अनेक स्थापना योजिल्या आहे परंतु त्यांतील
प्रत्येक स्थापना अनुभवास न्यूनाधिक येती. यास्तव जी स्थापना परीक्षेत
अनुभवास चांगली आहे तिचें वर्णन स्पष्ट करितो.

जीवांचे यत्नाविषयीं परमावधीचे दोन प्रकार आहेत. ते असे को-
णीएक वेग आहे त्या वेगाने जीवांचें गमन होत असतां त्याला कांहीं वजन
उचलून न्यायाची शक्ति नसती केवळ शरीर मात्र नेतां येतें. त्या वेगाला
ह्मणावा. आणि जें वजन जीवाला उचलतें मात्र परंतु तें वजन उचललें अ-
सतां कांहीं वेग उत्पन्न होत नाहीं असें मोठें वजन आहे त्या वजनाला
ह्मणावें. आणि कोणी एक वजन कोणीएका वेगाने नेतां येतें. तें वजन आ-
णि तो वेग या उभयतांचे प्रमाणांत जें फल आहे त्याला विद्यारीतीने उप-
क फल ह्मणावें. हें फल वजन आणि वेग याचा गुणाकाराशीं समान आ-
हे असें उदाहरणाचेठायीं स्पष्ट होईल. कोणी एक घोडा एका अवरां

दो

दोन मणाचें वजन घेऊन साहा मैल चालतो आणि दुसरा घोडा एका अवरांत तीन मणाचें वजन घेऊन चार मैल चालतो असें कल्पावें. आतां पहिल्या घोड्याचें वजन दोन आणि वेग सहा आहे तेव्हां उपयुक्त फल साहा दुणे बारा झालें. दुसऱ्याचें वजन तीन आणि वेग चार आहे. याचें उपयुक्त फल चारत्रिक बारा झालें. आतां एका मैलाचे अंतराचे स्थलापासून ओझें वाहायास ते घोडे सहा अवरापर्यंत लाविले असतां तीं दोन्हीं उपयुक्त फलें समान आहेत. असें जें यथास्थित रीतीने मोजून पाहिलें आहे तें स्पष्ट होईल. पहिला घोडा सहा अवरें काम करीत असतां प्रत्येका अवरांत सहा मैल चालून (३६) फेरे केले. आणि प्रत्येका फेऱ्यास दोहों मणाचें वजन नेऊन (७२) मणाचें ओझें वाहिलें. दुसऱ्या घोड्याने प्रत्येका अवरास चार मैल चालून (६) अवरांत चोवीस फेरे करून प्रति फेऱ्यास तीन मणाचें वजन नेऊन (७२) मण ओझें वाहिलें. या प्रकारें घोड्यांचीं उपयुक्त फलें समान आहेत असें सिद्ध झालें. सारांश ज्या अंकांनी वेग आणि वजन दाखविलें आहे त्या अंकांचा गुणाकार यथास्थित रीतीने उपयुक्त फल दाखवितो.

आतां (ल) या वजनाकडे आणि (क्ष) या वेगाकडे पुनः लक्ष ठवावें. ह्मणजे (ल) या वजनास कांहीं वेग नाहीं ह्मणून उपउक्त फल कांहीं होत नाहीं. तसें (क्ष) या वेगाला कांहीं वजन नाहीं ह्मणून यापासूनही कांहीं उपयुक्त फल होत नाहीं. परंतु (ल) या वजनापेक्षां कांहीं कमी वजन घेतलें असतां (क्ष) या वेगाहून जो कमी वेग आहे तो प्राप्त होऊन उपयुक्त फलही प्राप्त होईल. जें वजन आणि जो वेग परमावधीचा आहे यांत उपयुक्त फलाचा आभाव असतो आणि हें उपयुक्त फल जसें जसें या परमावधीचे जवळ असतें तसें तसें कमी होत असतें आणि या दोहोंचे मधलें कोणी एक मान आहे त्याचेठायीं उपयुक्तफल सर्वांहून मोठें होतें. परंतु तें फल अमुक मानावर होतें हें जाणायासाठीं वजन अधिक होत असतां वेग कोणत्या प्रमाणाने

णाने कमी होतो तें प्रमाण अवश्य आणिलें पाहिजे.

(ल) या वजनापेक्षां (र) हें वजन लहान आहे. या (र) वजनाला जा सर्वांहून उत्तम वेगाने चालविलें आहे त्या वेगाला (य) ह्मणावा. आतां उपयुक्तफल (र × य) याशीं समान ह्मणजे वजन आणि वेग याचा गुणाकाराशीं समान आहे. भाररहित (क्ष) हा जीव चालायाचा मोठा वेग आणि (य) हा जीवाने वजन घेऊन चालायाचा उत्तम वेग आहे या दोहों वेगांचे अंतराचे वर्गाप्रमाणे (र) हें वजन वाढतें हा नियम सर्वांहून चागला अनुभयास आला आहे. स्पष्टार्थ $(क्ष-य)^2$ या प्रमाणें (र) हें वजन वाढतें. असा नियम घेतला असतां तें उपयुक्तफल $(क्ष-य)^2 × य$) याणे दाखविलें असें फलित होतें.

हा नियम गणित रीतीचे कोष्टकाने दाखविला असतां अधिक स्पष्ट होईल. भाररहित वेग (१५) आहे असें कल्पावें. आणि (१५) याचा वर्ग (२२५) वेगरहित वजन आहे असें कल्पावें. आणि जितक्या प्रदेशांतून तो जीव कोणीएका सांगीतल्या कालांत ह्मणजे एका अवरांत चालतो त्या प्रदेशाचे (१५) समान भाग केले असतां त्यांतील प्रत्येक भाग भाररहित वेगाचे (१/१५) पंचदशांशास दाखवितो. तसे वेगरहित वजनाचे समान (२२५) भाग केले असतां त्यांतील प्रत्येक भाग वेगरहित वजनाचे (२२५) दोनशेंपंचवीसाव्या भागास दाखवितो. आतां एकापासून (१५) पर्यंत जे वेगाचे भाग आहेत त्याचे प्रमाणाचें जें वजन आणि उपयुक्तफल आहे त्यांला हा कोष्टक दाखवितो.

वेग.	०	१	२	३	४	५	६	७	८	९	१०	११	१२	१३	१४	१५
वजन.	२२५	१९६	१६९	१४४	१२१	१००	८१	६४	४९	३६	२५	१६	९	४	१	०
उपयुक्तफल.	०	१९६	३३८	४३२	४८४	५००	४८६	४४८	३९२	३२४	२५०	१७६	१०८	५२	१४	०

हलके भार शीघ्रगतीने चालवावे त्यापेक्षां मोठे भार मंद गतीने चालविले

लविले असतां त्यांपासून उपयुक्तफल फार मोठें प्राप्त होतें असें या कोष्ट-
कावरून स्पष्ट होतें. (१००) भार पांच वेगानी चालविले असतां उपयुक्त-
फल सर्वांहून मोठें होतें. ह्मणजे भाररहित जो मोठा वेग सांगीतला त्याचा
तृतीयांश वेगाने वेगरहित जो भार सर्वांहून मोठा सांगीतला त्याचा चा-
रनवांश भार चालविला असतां उपयुक्तफल सर्वांहून मोठें होतें आणि
तो मोठा वेग कोणत्याही अंकांनी दाखविला असतां असेंच फल सिद्ध
होईल

घोडयाचा जो भाररहित वेग आहे तो एका अवरांत (१९) मैलाचा
आहे आणि वेगरहित भार (२२५) भाग आहे असें कल्पून त्यांतील शंभर
(१००) भाग घोड्यावर लाऊन एका अवरांत (५) मैल प्रमाणे त्यास चाल-
विला तर घोड्याची क्रिया सर्वांहून चांगली होईल. आणि अशा रीतीने
कोणीएका मार्गांतून कोणी एका कालांत घोडा चालविला असतां अन्य
रीतीने चालवावा त्यापेक्षां सर्वांहून मोठा भार नेतां येईल.

मनुष्याचे मध्यम बलाचें मान शिल्पसाधनरूपाने घेतलें आहे तें
अनेकामत्तांनी मोजिलें आहे. तें (५५०) रतलाचें वजन एका मिनिटांत (१०)
फुटी उंच एका मनुष्यास उचलतां येतें. अशीच क्रिया (६) अवरें पर्यंत
सतत चालती असें डिसागुलीयर साहेब मानितो. ही मध्यमता फार मोठी
आहे असें स्मिटन् साहेब मानितो. (२११४१) घनफुटी समुद्राचें पाणी चा-
र अवरांत चार फुटी उंचींतून उचलायास (६) चांगलीं मनुष्यें पाहिजे-
त असें स्मिटन साहेब मानितो. या प्रकारांत सहा घनफुटीहून थोडें अ-
धिक गोडेपाणी (१०) फुटी उंचींतून एका मिनिटांत तीं मनुष्यें उचलती-
ल असें सिद्ध होतें. जा मनुष्यांस अशा कामाचा अभ्यास असतो तीं इ-
तर सामान्य मनुष्यांपेक्षां दुप्पटकाम करितात. अर्ध हाग्जेड * पाणि एका

* हाग्जेड ह्मणजे माप आहे जाने कांहींएक पातळ पदार्थ मोजिले जातात ते तीन जातीचे आहेत त्यांतील एकाचें प्रमाण (१७७६६) घन इंचा आहे.

मिनिटांत (१०) फुटी उंचींतून एक मनुष्य उचलितो अशा रीतीने मनु-ष्यांचें काम मोजायास हें कदाचित् चांगलें मध्यम मान आहे.

जा रीतीने मनुष्यांचे यत्न उपयोगांत घेतले आहेत त्या रीतीचा भे-दें करून यत्नाचे भेद होतात. बंबाची क्रिया आणि विंचेची * क्रिया घांट-चल्हें या सर्व क्रिया करायास मनुष्यांचें समान बल उपयोगांत घेतलेंअ-सतां सर्व क्रिया अशा होतातह्मणजे(१००)(१६७)(२२७)(२४८) अशा रीती-ने होतात असें मिस्तर र. बकनन् साहेबाने दाखविलें.

मनुष्यांचें बल वल्ह्यावर सर्वांहून चांगलें चालतें.

शिल्पसाधनाविषयीं, सर्वांहून चांगला पशु घोडा आहे. घोडा आणि मनुष्य यांचा क्रिया जा परस्परांचे प्रमाणांत आहेत तें प्रमाण अनेका री-तीने दाखविलें आहे. कितीएक असें मानितात एका घोड्याला (५) मनुष्यें कोणी (१)(६) कोणी (१)(७) असें नाना प्रकारें मानितात परंतु सर्वांहून चांगलें मध्यम मान यांतलें मधलें असेल असें वाटतें ह्मणजे एका घो-ड्यास सहा मनुष्यें असें बहुत करून आणावें.

सर्वांहून चांगल्या रीतीने जें घोड्याचें बल घेतलें आहे ती रीति ओढ्याचे क्रियेची आहे आणि सर्वांहून वाईट रीतीने घोड्याचें जें बलघे-तलें आहे ती रीति पर्वतादिकांवर चढायाचे क्रियेची आहे. मनुष्यांचें शरी-र अशा विशेष प्रकाराने कलें आहे तेणेकरून मनुष्यें या कामांत सर्वांहून चांगलीं आहेत. घोडा तीनशें रतलांचा भार घेऊन जितक्या वेगाने वर चढतो त्यापेक्षां तीन मनुष्यें शंभर शंभर रतलांचा भार घेऊन अधिक वेगानेच-ढतात असें पाहिलें आहे.

---

* विंच स॰ यंत्र आहे त्याचें वर्णन दुसऱ्या निबंधांत होईल.

भाग ८

भाग ८

heat

कलारिक ह्मणजे उष्णता

इहींकरून जीं शिल्पसाधनें उत्पन्न होतात त्यांविषयीं



(५८) उष्णता जा रीतीने शिल्पसाधनत्व उत्पन्न करायास उपयुक्त होती त्या रीतीचें वर्णन करायास उष्णतेचे गुणाचें कांहीं कथन पहिल्याने केलें पाहिजे. आणि त्यांतून जे गुण पदार्थाचा स्नेहाकर्षक गुणाशीं संबंध ठेवितात त्यांचें विशेषें करून केलें पाहिजे. उष्णतेविषयीं निराळा निबंध आहे यास्तव एथे तिचें अवयवशः वर्णन करायास अगत्य नाहीं सामान्य संक्षेपें करून मात्र करितो. विशेष विस्तारें करून पहायाची इच्छा असल्यास त्या निबंधांत पहावें.

जे पदार्थारंभक अवयव आहेत त्यांचें रूप किंवा स्थिति कशीही असो तथापि त्या मध्यें परस्परांचें आकर्षण असतें. त्या आकर्षणास स्नेहाकर्षण ह्मणतात. तें आकर्षण कोणीएका प्रतिरोधक बलाने रोधिलें नसलें तर त्याचे योगाने ते अवयव परस्परांकडे येऊन एकत्र घट्ट जमायास आणि अप्रवाही पदार्थाचें रूप धरायास यत्न करितात. कलारिक ह्मणजे तेज हें फार सूक्ष्म रूपाचें असून मोठ्या स्थितिस्थापक गुणाचें प्रवाही आहे असें मानितात आणि तें पदार्थांत अल्प किंवा बहु अंशांनी शिरून व्यापून राहतें. आणि तें आपल्या मोठ्या स्थितिस्थापकगुणाने पदार्थारंभक अवयवांस परस्परांपासून दूर करायास यत्न करितें. कलारिकाचा स्वभाव कसाही असो आणि तें आत्मा असो किंवा नसो तथापि ते स्नेहाकर्षकाचे कार्याशीं विरुद्ध कार्य उत्पन्न करायास कारण आहे. याविषयीं विवाद नाहीं. आणि तें जसें जसें पदार्थास व्यापितें तसें तसें त्या अवयवाचे आंगीं दूर होऊन पृथक् व्हावयास यत्न उत्पन्न

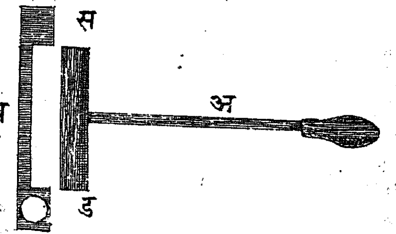
करितें

करितें आणि कित्येका प्रकारांत स्नेहाकर्षक बलाचा परिभव करून तें कार्य उत्पन्न करितें.

अप्रवाही पदार्थांचे आंगीं जें कलारिक आहे त्याचा त्या दूरीकरण बलापेक्षां स्नेहाकर्षक बल ह्मणजे जा गुणाने ते अवयव परस्परांस आकर्षितात तें बल फार मोठें आहे. आणि हें दूरीकरण बल व स्नेहाकर्षक बल या दोहों बलांचे अंतराशीं समान जें बल आहे त्या बलाने ते अवयव सलग्न राहतात असें फलित होतें. आतां पदार्थाचे आंगीं अग्नीसंयोगाने अधिक कलारिक वाढविलें असतां कलारिकाचें तें दूरीकरण बल अधिक होऊन पदार्थारंभक अवयव अधिक दूर होतात आणि परस्परांपासून अधिक अंतराने राहातात. त्यामुळें पदार्थांचा आकार वाढतो.

असें कार्य वास्तविक होतें. याचें उदाहरण (आकृति २७) (सड) हा धातूचा वर्तुल गज आहे आणि (ब) ही धातूची पटी आहे. तिचा एका शेवटावर एक वर्तुल छिद्र आहे. त्या वर्तुल छिद्रांत तो गज परिमित शिरत असतो. आणि त्या पट्टीला एक खंचणी त्या गजाचे लांबीशीं समान आहे. तो गज तापवून त्या पटीने मोजिला असतां त्या पट्टीचे खंचणींत मावत नाहीं आणि त्या छिद्रांतही शिरत नाहीं अशी त्याची लांबी आणि जाडी तापविल्याने वाढती.

(आ. २७)



अप्रवाही पदार्थ तापविला असतां त्याचा आकार उक्त कारणाने वाढतो परंतु हें कार्य इतर अप्रवाही पदार्थांपेक्षां धातूचे ठायीं अधिक स्पष्ट होतें.

उष्णतेचें हें कार्य केवळ अप्रवाहीचे ठायींच होतें असें नाहीं पातळ पदार्थांचे ठायीं आणि त्यापेक्षां वायुस्वरूप पदार्थांचे ठायीं अधिक स्प-

ष्ट होतें. उष्णमापक ह्मणून एक यंत्र आहे त्यांत प्रवाहीचें प्रसरण उष्णतेचे योगानें होतें तें जी उष्णता त्या यंत्रास स्पर्शिती तिचें मान दाखवितें. या यंत्राचें वर्णन उष्णतेच्या निबंधाच्या चवथ्या भागांत सविस्तर होईल. या यंत्रांत सामान्य प्रवाही पदार्थ घालीत असतात परंतु बहुत करून पाण्यासारिखे पातळ पदार्थ घालितात.

(९९) पदार्थ अप्रवाही किंवा प्रवाही ह्मणजे पाण्यासारिखे किंवा वायुस्वरूप कसेही असोत परंतु अधिक उष्णता प्राप्त झाल्याने त्यांच्या आकार वाढून ते पदार्थ कोणीएका मानाचें शिल्पबल योजितात. आणि वाढण्यास जो प्रतिरोध आहे त्याचेठायीं त्या शिल्पबलाचें समान चेपण असतें. तें वाढण्याचें बळ बहुत करून शिल्पसाधनरूपानें घेतात आणि इतर शिल्पबल नखर्चितां हें बळ जा मानाचें पाहिजे त्या मानाचें उत्पन्न करितां येतें असें चांगलें आहे. आणि संकोचन व चेपण यांच्या योगेंकरून जें वायूस शिल्पसाधनत्व प्राप्त होतें त्यापेक्षां उक्त प्रकारें हें बळ चांगलें आहे. असें (९३,९४) या कलमांत स्पष्ट आहे.

फ्रेंच देशांत पारीस नगरामध्यें एका घराच्या दोन भिंती जवळ जवळ करायासाठीं जी रीति थोड्या वर्षांपूर्वी घेतली होती त्या रीतीने अप्रवाही पदार्थांच्या आकार वाढविणाऱ्या उष्णतेच्या शक्तीचा उपयोग चमत्कारानें दाखविला आहे. घराचे पाख्याचे भारानें त्या घराच्या भिंती बाहेरचे आंगा तोलल्या होत्या. त्या भिंती वक्ष्यमाण प्रकारें लंबस्थितींत सारिख्या आणिल्या. त्या अशा भिंतींला कित्येका भागांवर समोरासमोर भोंके पाडून त्या भोंकांतून लोखंडी मोठे गज भिंतींतून पार येत असे घालून त्यांचे शेवटांशीं मोठे मोठे नट* भिंतींवर चेपीत असे मळसूत्रानें योजिले. आणि ते गज मोठाल्या दिव्यांनी एकांतरित तापविले. तेणेकरून ते पसरून त्यांची लांबी वाढून जे नट भिंतींला लागले होते ते कांहीं बाहे-

---

* नट ह्मं० मळसूत्री अडकणें आहेत.

र सरले. ते पुनः मळसूत्राने भिंती जवळ आणून गज थंड केले. तेणेकरून ते गज आंखडून भिंतींला परस्परांकडे चेपिल्यानंतर ते उर्वरीत् गज पूर्ववत् तापविले. असें वारंवार करून हळू हळू भिंती पूर्वींचा लंबस्थितींत आणिल्या.

चक्रांचा धावां पिंपाचा पट्या बसवायासाठीं असें बल शिल्परूपाने घेतलें आहे. त्या धावां आणि त्या पट्ट्या तापवून चक्राला आणि पिंपाला चांगल्या बसवून थंड करितात. तेणेकरून त्या आंखडून चक्राचा आणि पिंपाचा अवयवांला मोठ्या बलाने आंवळून गच्च बसवितात.

उष्णता आणि शीतता यांचा योगाने अप्रवाही पदार्थांचीं जीं प्रसरणाकुंचन बलें प्राप्त होतात तीं फार अल्प प्रदेशांत क्रिया करितात.शास्त्रव शिल्पसाधनाचे कामांत फारकरून घेत नाहींत विशेष प्रकारांत मात्र घेतात.

(६०) पदार्थांचा आकार वाढविण्याविषयीं जी उष्णतेची शक्ति आहे तिजपेक्षां पदार्थाचा आकारावर जें उष्णतेचें कर्तृत्व आहे त्याचेच योगाने उष्णता फार मोठ्या शक्तीचें शिल्पसाधन उत्पन्न करायास समर्थ होती. अप्रवाही पदार्थांचा आंगीं जी उष्णता पसरून राहिली आहे. तिचा दूरीकरण बलापेक्षां स्नेहाकर्षकबल मोठें आहे असें पूर्वीं सांगीतलें. आतां स्नेहाकर्षक बल नित्य एकसारिखें राहतें असें कल्पून दूरीकरणबल स्नेहाकर्षकबलाशीं समान किंवा त्यापेक्षां किंचित् न्यून होईल अशी मोठी उष्णता अग्निसंयोगाने पदार्थांत शिरविली असतां त्याचें फल काय होईल? पदार्थारंभक अवयवांचे आंगीं संयुक्त व्हायाची शक्ति नाहींशी होऊन किंवा अतिअल्प होऊन ते अवयव एकमेकांकडे संचार करून आणि ज्या पात्रांत पदार्थ ठेविला आहे त्या पात्राचे बाजूंनी ते अवयव निरोधिले नसतां आपापल्या भाराने निरनिराळे पडतील. ह्मणजे

जे अप्रवाही पदार्थांस समान किंवा किंचित् न्यून उष्णता लाविली असतां ते प्रवाही होतील. सारांश अप्रवाही पदार्थ परिमित कालापर्यंत अग्नीचे क्रियेंत ठेविले असतां ते निश्चित प्रवाही होतात.

स्नेहाकर्षकबल आणि दूरीकरण बल या दोहोंमध्यें जें प्रमाण आहे त्या प्रमाणे करून पदार्थांचा आंगीं अप्रवाहित्व आणि प्रवाहित्व असतें. अप्रवाही पदार्थांचे आंगीं स्नेहाकर्षकबल दूरीकरणबलाहून अधिक असतें. प्रवाहीचा आंगीं हीं दोन्हीं बलें समतोलनाचे जवळचीं अशीं असतात.

प्रवाही पदार्थापासून विवक्षित मानाची उष्णता काढिली असतां तो अप्रवाही होतो असें अनुभवास येतें. कारण उष्णता कमी केल्याने दूरीकरणबल कमी होऊन स्नेहाकर्षकबल अधिक होतें.

(६१) या दोहों बलांचा प्रमाणाचा स्वाधीन पदार्थांचा रूपाचा जो पूर्वोक्त भेद आहे तो सर्वांहून मोठा किंवा एकच आहे असें नाहीं.

प्रवाही पदार्थांचेठायीं जें उष्णतेचें दूरीकरण बल आहे तें स्नेहाकर्षकबलाचे समतोलनाचे जवळ जवळ आहे असें पूर्वीं सांगितलें. आतां उष्णता फार अधिक केली असतां स्नेहाकर्षक बलाहून दूरीकरण बलाचें कार्य फार मोठें होतें. तेणेकरून पदार्थावयव परस्परांचे संयोगाची आशा सोडून परस्परांपासून दूर राहातात. दूरीकरणबलाने ते अवयवांचें पृथक्करण होऊन तो प्रवाही पदार्थ अगदी उडून न जाईल यासाठीं त्याला बंद करून ठेविला पाहिजे असें तो प्रवाही पदार्थ रूप धरितो.

या प्रकारें कोणीएक प्रवाही पदार्थ अग्नीचे क्रियेंत फार वेळ ठेविला असतां त्या पदार्थाची हळू हळू वाफ होती. वाफ एक प्रवाही पदार्थ आहे हिचा शिल्पगुण पातळ पदार्थाचे गुणापेक्षां अगदी निराळा आहे. कोणी एका पात्रांत पातळ पदार्थ बंद करून ठेविला असतां तो त्या पात्राचे आंतल्या आंगाचे पृष्ठाला आपल्या भारापेक्षां अधिक बलाने चेपीत नाहीं. परंतु त्याची वाफ करून

ती

ती बंद केली असतां त्या पात्राचे पृष्ठाला आपल्या स्थितिस्थापकत्व बलाने चेपिती स्थितिस्थापकत्वबल पदार्थाचे गुरुत्वाचे स्वाधीन अगदीं नाहीं अवयवांस दूर करणाऱ्या बलापासून हें उत्पन्न होतें. यास्तव ज्या पात्रांत वाफ कोंडून ठेविली आहे त्या पात्राचे पृष्ठावर त्याला फोडायाजोगें ती चेपण करिती.

स्थितिस्थापकत्वाचें मान ह्मणजे बंद केलेल्या वाफेचें पात्राचे पृष्ठांवरल्या चेपणाचें मान जशी जशी उष्णता वाढवावी तसें तसें तें अधिक वाढतें आणि जशी जशी उष्णता कमी करावी तसें तसें तें स्थितिस्थापकत्वाचें चेपण कमी होतें. हें पूर्वोक्त सिद्धांतावरून आणि अनुभवावरून पाहिलें आहे.

ज्या बलाने पातळ पदार्थांची वाफ होती त्या बलाचें कार्य ज्या बलानेअप्रवाही पदार्थाचा प्रवाही होतो त्या बलाचे कियेंत दिसत नाहीं. वातावरणाचे चेपणाचें कार्य पातळ पदार्थांचे अवयवांस एकत्र जमवून ठेवायाचें आहे. यास्तव स्नेहाकर्षकबल आणि हें चेपणहीं दोन्ही मिळून उष्णतेचे कार्याचा प्रतिबंध करितात. स्नेहाकर्षक बलाशीं समान होई इतक्या मानाची उष्णता पातळ पदार्थास दिली असतां तो पदार्थ पूर्ववत यत्किंचित उष्णता अधिक केल्याने स्थितिस्थापक पदार्थाचें रूप पावेल. अशा अवस्थेंत असतां वातावरणाचें चेपण तें रूप प्राप्त होण्यास प्रतिरोध करितें. एथे पातळ पदार्थाचे अवयव एकत्र जमवून पातळ पदार्थाचे स्थितींत राखायाविषयीं वातावरणाचें चेपण मात्र साधन आहे. याचा अनुभव पाहायास अशा पातळ पदार्थांवर जें वातावरणाचें चेपण आहे तें मात्र काढिलें असतां ते पदार्थ तत्काल वाफेचें रूप धरितील.

उष्णमापकाचे* (१८०) अंशांचे उष्णतेचें पाणी किंवा आल्कोहल किंवा इथर+ घेऊन वाताकर्षक यंत्रपात्रांत ठेऊन त्यांचे पृष्ठावरिलें वातावर-

---

* उष्णमापक ह्म० एक यंत्र आहे याचे योगाने उष्णतेचें मान मोजलें जातें.

\+ आल्कोहल आणि इथर हीं दोन्ही एका जातीचीं अर्कें आहेत.

णाचें चेपण काढिलें असतां अथवा वातवैरल्यें करून कमी केलें असतां ते पदार्थ उकळी फुटून वाफरूपता पावतात. इथर नुसत्या वायूंत ठेविल्यानेही उडून जातें.

वातावरणाचें चेपण वाढविलें असतां तें वाफ होण्यास प्रतिबंध करितें असें या सिद्धांतावरून फलित होतें. ज्या समयीं वातमापक* (३०) इंचा उंचीचें आहे तेव्हां पाणी वातवरणाचे चेपणाखालीं फेरन्‌हिटाचे उष्णमापकाचे (२१२) अंश उष्ण केलें असतां तें पाणी उकळी फुटून वाफरूप होतें. आणि तेंच पाणी वातावरणाचे अधिक चेपणांत ठेविलें असतां उक्त उष्णतेपेक्षां अधिक उष्णता प्राप्त झाल्याशिवाय उकळी फुटून वाफ होत नाहीं.

उष्णतेचे योगाने जी पातळ पदार्थाची वाफ होती तिजपासून पुरत्या मानाचीं उष्णता काढिली असतां पुनः ती पातळ पदार्थाचें रूप धरिती. या प्रकारांत तिचा आकार फारच मोठे प्रमाणाने कमी होतो. ही फार मोठी आश्चर्यकारक गोष्ट आहे. उदाहरण सामान्य वातावरणाचे चेपणाखालीं एक घन इंच पाण्याची वाफ केली असतां ती एक घनफुट होती. आणि शीतपदार्थांनी किंवा इतर उपचारांनी त्या घनफुटी वाफेपासून उष्णता काढिली असतां तिचें एक घनइंच प्रमाण पाणी होतें. हा गुण फार मोठें शिल्पसाधन उत्पन्न करण्याविषयीं घेतला आहे. घनफुट वाफ कोणी एका पात्रांत बंद करून ती पाण्याचें रूप घेई तों पर्यंत थंड केली असतां त्या पात्रांत (१७२७) घनइंच शून्यावकाश ह्मणजे रिक्तता प्राप्त होती. कारण वाफ संकुचित व्हावयाचा पूर्वीं तिणे एक घनफुट प्रदेश ह्मणजे (१७२८) घनइंचा प्रदेश व्यापिला होता ती संकुचित झाल्याने एक घनइंच होती ह्मणून (१७२७) घनइंचा प्रदेश अर्थात् रिकामा राहतो.

शून्यावकाश उत्पन्न करण्याविषयीं वाफेचा संकोच ह्मणजे तिला

* वात मापक ह्म० एक यंत्र आहे याचे योगानें वातावरणाचें चेपण किंवा भार मोजलें जातें.

पातळ

पातळ पदार्थाचें रूप देणे ही रीति फार सोपी आणि मोठ्या कर्तृत्वाचीआहे. आणि सहाव्या भागांत जी रीति असें कार्य करायास सांगीतली आहे तिजपेक्षां ही रीति फार चांगली आहे. कारण अशा प्रकारची रिक्तता शिल्पबल कांहीं खर्चल्यावांचून उत्पन्न करितां येती. पूर्वीचा वाफयंत्रांस याच प्रकारें कर्तृत्व मिळालें होतें. इशावी सनाचे सुमारें (१७००) वर्षीत जें सेवरीसाहेबाने यंत्र उत्पन्न केलें त्या यंत्रांत नळींतला वायु वाफेचे योगाने बाहेर काढून नळी रिक्त करून तिंत पाणी उचलायासाठीं वातावरणाचें चेपण घेतलें होतें. आणि वाफेचे योगाने वायु बाहेर वाढून नळींत रिक्तताउत्पन्न केली. ती अशी नळी वाफेने भरून तिंतला वायु उघडी वाटेस सर्व बाहेर गेल्यानंतर वाफ पात्राला बाहेरून थंड करून वाफ संकुचित करून रिक्तता उत्पन्न केली. ही उघडी बाहेर उघडायाची आहे ह्मणून पुनः वायूस आंत शिरूं देत नाहीं. तेणे करून जलाशयांतल्या पाण्याचे पृष्ठावर वातावरणाचें चेपण होऊन त्या नळींत पाणी चढतें.

पुढें कांहीं कालानंतर न्युकामन साहेबानेही आपल्या वातावरण वाफ यंत्रांत रिक्तता उत्पन्न करायास अशीच रीति घेतली होती परंतु त्याणे वातावरणाचें चेपण अन्य रीतीने घेतलें. तें असें वाफ बाहेर नपडूं पावे अशा दट्टयाचें शिलिंडर घेतलें आणि एक मोठी छांट घेऊन तिचा एका शेवटास दट्टयाचा गज बांधिला आणि दुसऱ्या शेवटास जा बंबावर क्रिया करायाची त्या बंबाचे दट्टयाचे गज जोडिले. बंबाचे दट्टयाचें वजन शिलिंडरांतल्या दट्टयाला शिलिंडराचे तोंडापर्यंत उचलून आणायाजोगें होतें. नंतर त्या साहेबाने शिलिंडर वाफेने भरून आंतला वायु काढून शिलिंडर थंड केलें. तेणेकरून आंतली वाफ संकुचित होऊन दट्टयाखालीं रिक्तता उत्पन्न झाली. तेणेकरून वातावरणाचें चेपण दट्टयावर क्रिया करीत असतां दट्टयाला आंत चेपून छाटेचे दुसऱ्या बाजूचे दट्टे उचलले. या प्रकारें ती क्रिया सतत चालली.

या

या प्रकारांत वाफेचें स्थितिस्थापकत्वबल उपयोगांत घेतलें नाहीं वातावरणाचें चेपण मात्र कार्य उत्पन्न करायास साधन होतें तथापि वाफेचे संकोचानें रिक्तता उत्पन्न झाली तिचा योगानें त्यास कर्तृत्व प्राप्त झालें. वाफेचा स्थितिस्थापकत्वबलापासून जी शिल्पसाधन शक्ति प्राप्त होती ती अपरिमित आहे असें जें आतां स्पष्ट आहे तें पूर्वीं सांगीतलें होतें. इसवी सन (१६६२) वुस्तर देशाचा मारकिस ह्मणजे एक अधिकारी होता त्याणें एक यंत्र केलें. त्या यंत्रानें कोणी एका मानाचें पाणी फार उंच चढविलें. तें यंत्र वातावरणाचे चेपणापेक्षां शक्तींत फार अधिक होतें. कारण वातावरणाचें चेपण लहानशा प्रदेशांत मात्र क्रिया करितें आणि वाफेचें स्थितिस्थापकबल ज्या पात्रांत वाफ कोंडिली आहे त्या पात्राचें बल जसें जसें असेल तसें हें बल असतें.

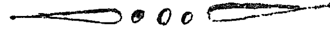
सांप्रतकालीं चालन पावून चांगलीं झालीं जीं यंत्रें त्या यंत्रांत वाफेचा पूर्वोक्त दोन्ही शक्ति उपयोगांत घेतल्या आहेत. या जातीचा यंत्रांला हलक्या चेपणाचीं यंत्रें ह्मणतात. या यंत्रामध्यें एक दट्टा सिलिंडरांत चालू केला आहे आणि वाफेचें स्थितिस्थापकत्वबल दट्ट्याचे एका बाजूवर क्रिया करीत असतां दुसऱ्या बाजूवर वाफ संकुचित होऊन रिक्तता उत्पन्न करिती. अशा क्रियेनें तो दट्टा प्रेरिला आहे.

मोठ्या चेपणाचें यंत्र. या यंत्रांत वाफेचे स्थितिस्थापकत्वबलानें समोरचा बाजूवर जें वातावरणाचें चेपण आहे त्याकडे तो दट्टा प्रेरिला आहे. पूर्व यंत्रांत वाफ संकुचित करून रिक्तता उत्पन्न करायासाठीं जें दुसरें पात्र घेतलें आहे त्या पात्राची या यंत्रांत गरज लागत नाहीं यास्तव या यंत्रास खर्च थोडा पुरून ओझेंही फार कमी आहे. परंतु वातावरणाचे चेपणाला समतोलनांत राखायासाठीं जें वाफेचें स्थितिस्थापकत्वबल लागतें तें फुकट जातें. कारण गतिउत्पन्न करायाचे पूर्वीं त्या चेपणाचा परिभव केला पाहिजे. यास्तव मोठ्या उष्णतेची आणि मोठ्या चेपणाची वाफ कामांत घेतली पाहिजे. त्यामुळें सर्पणाचा

खर्च

खर्च अधिक होतो व याचे क्रियेंत फार भय आहे.

सिलिंडरांतल्या दट्टयाला चलित करणारी शक्ति पूर्ववत एकदां प्राप्त झाली असतां लाटेचे योगाने किंवा अन्य प्रकारचे रीतीने शिल्पकार्याकडे लावायास कांहीं कठिन नाहीं सहज लावितां येती.



पहिल्या निबंधांत गति आणि बलें यांचे मोठे मोठे गुण सामान्य संक्षेपेंकरून सांगीतले आहेत. तशीं मुख्य शिल्पसाधनें ह्मणजे आदिचालकें यांचें दिक्प्रदर्शन केलें आहे. कारण हा पहिला निबंध आबालवृद्धांस अनायासाने समजावा ह्मणून शिक्षामालेचा रीतीने विशेष विस्तारेंकरून वर्णन केलें नाहीं. यंत्रांचीं बीजें ह्मणजे स्वाभाविकशक्ति या निबंधांत सांगीतल्या आहेत. त्या कोणत्या रीतीने शिल्पकार्योपयुक्त होतात तें अशाच रीतीने दुसऱ्या निबंधांत सांगेल आणि दुसऱ्या निबधांत मुख्यत्वेंकरूनशिल्पशक्तीचें वर्णन होईल.



शिल्पविद्या

निबंध २

यंत्राचा बीजांविषयीं

भाग १

यांत यंत्रें.–शक्ति आणि भार.– गुणवद्वेगाचें बीज.– केवळ यंत्रें ह्मणजे शिल्पशक्ति.–यांचें निरूपण केलें आहे.

(१) ईश्वराने मनुष्यांचा स्वाधीन जीं नानाप्रकारचीं शिल्पसाधनें ठेविलीं आहेत. तीं शिल्पसाधनें अशीं. अप्रवाही पदार्थांचे भार आणि त्यांचा गतींतलें चालकत्व व पातळ पदार्थांचे भार आणि चेपण वायु आणि गास ह्मणजे एका जातीचा वायुस्वरूप पदार्थ त्यांचे भार आणि चेपण उष्णतेचे योगाने जी प्रवाही पदार्थांची वाफ होती तिचें स्थितिस्थापकबल कमाणीचें स्थितिस्थापकत्व व जीवाचें शारीरबल. हीं सर्व साहजिकशिल्पसाधनें आहेत. परंतु त्यांचा शक्ति अनेकाजातींचा आणि अनेकामानांचा आहेत. यास्तव या बलांनी कांहीं प्रतिरोध दूरकरावयाचा असतां किंवा पदार्थांचेठायीं गति उत्पन्न करावयाची असतां यांस पूर्वीं कांहीं रूपांतर दिल्यावांचून हीं प्रायः कामांत घेतां येत नाहींत. उदाहरण जा शक्ति आपल्या स्वाधीन आहेत त्या मधून कोणीएक शक्ति घेतली असतां ती विवक्षित दिशेंत क्रिया करीत नाहीं किंवा तिचा वेग किंवा मान इच्छानुरूप नसतें यास्तव ती शक्ति कार्यस्थलापर्यंत जाताना तिची दिशा किंवा वेग किंवा मान कामांत यथायोग्य उपयुक्त पडे अशी कांहीं कळ केली पाहिजे. अशी जी कळ करितात तिला "यंत्र" ह्मणतात.

(२) यद्यपि यंत्रें अनेकाप्रकारें उपयोगांत घेतलीं आहेत आणि त्यांचीं फलेंहीं अनेकाप्रकारचीं आहेत असें दिसतें परंतु यंत्रें सवघड किंवा खटपटीचीं कशींही असोत तथापि वक्ष्यमाण प्रकारचीं तीन कार्यें मात्र उत्पन्न करावयास त्यांची प्रवृत्ति आहे. तीं कार्यें (१) जी कोणीएका दिशेची चालकशक्ति आहे ती विवक्षित प्रतिरोध दूर करावयास योग्य व्हावी किंवा कोणीएका पदार्थावर योजायाची आहे त्या पदार्थाचा आंगी विवक्षित जातीची गति उत्पन्न करावयास योग्य व्हावी एतदर्थ तिची दिशा बदलणे हें एक कार्य.(२) जी कोणीएका वेगाची चालकशक्ति आहे ती शक्ति जें कार्य सिद्ध करावयाचें आहे त्याचा आंगीं किंवा जो पदार्थ चलित करावयाचा आहे त्याचे आंगीं निराळा वेग उत्पन्न करावयास शक्य होई अशी तिला करणें हें दुसरें कार्य.(३) जी कोणी एका मानाची शक्ति आहे तिला प्रतिरोध दूर करावयासाठीं किंवा जो पदार्थ चलित करावयाचा आहे त्यावर निराळ्या मानाचें बल योजायासाठीं शक्य करणें आणि बहुतकरून तिचें मान पूर्वीचा मानापेक्षां फार मोठें करावयास शक्य करणे हें तिसरें कार्य आहे.

(३) यंत्राचा स्वभाव आणि गुण यांचें वर्णन सुलभ व्हावयास चालकशक्ति आणि दूर करावयाचा प्रतिरोध हीं आपआपल्या समान भाराने दाखविलीं आहेत असें मानितो. जो भार चालकशक्तीला दाखवायास घेतला आहे त्याला विचारीतीने शक्ति ह्मणतात. आणि जो भार प्रतिरोधाला दाखवितो त्याला भार ह्मणतात. चालकशक्ति आणि प्रतिरोध हीं कोणत्याही जातीचीं बलें असलीं तरीं त्यांचे भार समानतेने दाखवितां येतात असें मानावयास अवघड नाहीं. दट्ट्यावर चेपण करणारें जें वाफेचें स्थितिस्थापकबल आहे तें प्रकृत चालकशक्ति आहे तरत्याचाएका एका वर्गइंचेवर कांहीं एका मानाचें चेपण होतें. असें ह्मणतात. तात्पर्य

सर्व सिलिंडरांतल्या दट्ट्यावर चेपायास जितक्या रत्तलांचें वजन ठेविल्यानेजें कार्य उत्पन्न होतें तितकेंच कार्य त्या स्थितिस्थापकबलाचें आहे असें आणावेंआणि पाचरेला लांकूड चिरती वेळेस जो प्रतिरोध लांकूड करितें तो प्रकृत प्रतिरोध शब्देंकरून घेतला असतां कोणीएक भार पाचरेच्या तोंडाकडल्या बाजूवर क्रिया करीत असतां समान प्रतिरोध करील असें कल्पायास अवघड नाहीं आतां चालक शक्ति आणि दूर करावयाचा प्रतिरोध हीं कोणत्याही जातीचीं असलीं तथापि शक्ति आणि भार या शब्देंकरून त्याचें ग्रहण पुढें केलें आईल.

(४) शक्तीचें कर्तृत्व यंत्राचे योगानें भाराकडे नेत असतां अनेक प्रतिरोध या शक्तीचा क्रियेचा निरोध करून तिचीं कार्यें बिघडितात. ते प्रतिरोध असे आहेत. पदार्थांचीं जीं अंगें परस्परांशीं संलग्नतेने फिरत असतात त्यांचा खरखरीतपणा व दोरांचें काठिन्य गजाचे नम्रतामुलक दबणे असे नानाप्रकारचे आहेत. या सर्व प्रतिरोधक बलांचा कार्यांची गणना या विद्येचा मूलकारणामध्यें शिरून यंत्राचा गुणाचा विचाराचा जर एक भाग झाली तर हे विचार फारकठिन होऊन अभ्यास करणारांचा मनास त्रास देतील. तो त्रास न व्हावा ह्मणून प्रथम शक्तीचे क्रियेस जे प्रतिरोध आहेत त्यांचा विचार बहुतकरून न करितां यंत्रास कांहीं प्रतिरोध नाहीं असें मानितो. ह्मणजे यंत्राचीं सर्व पृष्ठें चांगलीं गुळगुळीत आहेत व सर्व दोर चांगले नम्र आहेत व गज आणि तर्फा इत्यादि सर्व चांगलीं अनम्र आहेत आणि इतर सर्व अशीं असावीं तसीं आहेत असें मानितो. यद्यपि हें सर्व वस्तुतः पाहिलें असतां काल्पनिक असत्य आहे तथापि सर्व फल पहाण्याविषयीं हें परिणामीं सत्याचा जवळचा मार्ग आहे. घर्षण आणि काठिन्य नसतां यंत्रामध्यें शक्ति आणि भार यांचा जो संबंध आहे तो जाणिला असतां या बलांचीं कार्यें जीं परिणामीं प्राप्त होतात त्याचें फल शुद्ध करायास अवघड नाहीं. यंत्रांचीजी सत्यता आहे ती प्रथम विचारांत न घेतां उक्त रीतीचा अनुरोधाने चाललेंअसतां

सतां

सतां यंत्रांचे सर्व व्यवहार अभ्यास करणारांस सवघड आणि स्पष्ट होतात आणि अनुभवासही त्वरित येतात.

हे सर्व पूर्वोक्त प्रकार सिद्धपदार्थविज्ञानाचे भागांतही न्यूनाधिक शिरले आहेत. या विचारापासून जीं अनेकफलें प्राप्त होतात तीं सत्याचें सन्निकर्षण मात्र आहेत तीं सत्य नाहींत. त्याविषयीं जे प्रथम विचार असतात त्यांतल्या सत्य कल्पनामध्यें असत्य कल्पना शिरल्या आहेत यास्तव त्यांत नानाप्रकारच्या चुका लागतात त्यामुळे त्यांचीं पहिलीं फळें खोटीं होतात. प्रथम कल्पनेमध्यें जें सत्यापासून एकीकडे गेलें आहे तें आणिलें असतां त्यापासून जें कार्य उत्पन्न होतें आणि फलामध्यें जो भेद पडतो तोही जाणतां येईल आणि जशा जशा चुका कळू येतील तशा तशा त्यांला काढितां येतील आणि सर्व शोधांचें परिणाम जें सत्य ह्मणून आहे त्यांचा जवळ जवळ सतत क्रियेने फल पोंचेल. जसा चित्र किंवा प्रतिमा करण्याविषयीं शिल्पकाराचा व्यापार चालत असतो तसा सिद्धपदार्थविज्ञानाचा ज्ञानाविषयीं मनाचा व्यापार चालत असतो. स्पष्टार्थ शिल्पकाराचा प्रथम व्यापाराने जें चित्र रचिलें जातें तें अस्सलाशीं फार दूर आणि सामान्य आबडधोबड असें असतें. नंतर कलमानें किंवा करणीने नीट करीत करीत अस्सलाचे जवळ जवळ नेत नेत तुल्यतेस नेतो.

(९) यंत्र पूर्वोक्त प्रतिरोधेंकरून रहित आहे असें मानिलें असतां जी शक्ति यंत्राच्या योगाने कोणीएक विवक्षित भार उचलावयास समर्थ होती तिचा शोधाचें जें कृत्य आहे तें पूर्वी दिसू येतें. यद्यपि यंत्रें अनेकाप्रकारचीं आहेत आणि दुसरींही अनेकाप्रकारचीं करावयास मनुष्यांची बुद्धि समर्थ आहे तथापि जें स्वतः स्पष्ट असून सहज कळू येतें आणि साधारण सर्वांकडे लागतें असें एक मोठें मूलकारण आहे याचा योगाने जी शक्ति विवक्षित भार उचलावयास समर्थ होती ती शक्ति शोधितां

येईल

येईल. यंत्राचे योगाने शक्ति भारावर क्रिया करी अशी संबद्ध करून तिला कांहीं गति दिली असतां त्या भाराचे आंगींही गति उत्पन्न होईल आणि ज्या वेगाने ती शक्ति लंबरेषेने खालीं येती आणि ज्या वेगाने भार लंबरेषेने वरती जातो या दोहों वेगांमध्यें कांहीं एक प्रमाण आहे असें ज्ञान होईल. तें प्रमाण यंत्रांचीं निर्मिति आणि स्वभाव यांचे केवल स्वाधीन आहे. तें प्रमाण कसेंही असो तथापि भार उचलावयास शक्ति समर्थ व्हावी यास्तव भाराचा वेग जशा शक्तीचे प्रमाणांत आहे तशी शक्ति भाराचे प्रमाणांत असली पाहिजे. किंवा ज्या प्रदेशांतून शक्ति लंबरेषेने खालीं येती त्या प्रदेशाने शक्ति गुणली असतां जें फल प्राप्त होतें तें फल आणि ज्या प्रदेशांतून लंबरेषेने भार वरती जातो त्या प्रदेशाने भार गुणिला असतां जें फल प्राप्त होतें तें फल त्या फलाशीं समान आहे. *

हें मोठें बीज आहे याला गुणवद्वेगाचें बीज ह्मणतात. हें शिल्पविद्येचें त्रैराशिक आहे असें मानितां येईल आणि स्थैर्यविज्ञान व शक्तिविज्ञान या विद्या या नियमाचे पोटांत आहेत असेंही ह्मणतां येईल. आणि पदार्थ किंवा पदार्थांची रचना समतोलनांत आणि गतिमंत असतां त्याविषयीं जीं कृत्यें आहेत त्यांचेंही निरूपण याच नियमाचा पोटीं आहे. कारण समतोलन किंवा स्थैर्यविज्ञान यांचे कृत्याविषयीं जे सर्वत्र प्रश्न आहेत त्यांसही हा नियम साक्षात् आणि स्पष्ट लागतो. परंतु या प्रकृत लहान निबंधांत या बीजाचा गुण पुरतेपणे स्पष्ट करीन किंवा सामान्यपणे वर्णीन असें ह्मणतां येत नाहीं. तें पुनः या नियमाचें सूक्ष्म प्रमाण करायास अशक्य किंवा याचीं फलें बहुत नाहींत किंवा फार मोठीं नाहींत ह्मणून याचें वर्णन एथे होत नाहीं असें नव्हे तर याचें वर्ण करावयास बीजगणिताचा रीतीची सहाय्यता

---

* गुणवद्वेगाचें बीज व्यापक आहे असें सांगीतलें परंतु त्यापेक्षांही फार व्यापक आहे तथापि त्याची सर्व व्यापकता या ग्रंथांत दाखविली नाहीं.

पाहिजे. ती रीति फार कठिन आहे यास्तव एथे सांगावयास योग्य नाहीं. आणि गुणवद्वेगाचीं चमत्कारिक फलें सिद्धपदार्थविज्ञानाचे अनेकाभागामध्ये शिरलीं आहेत तीं एथे वर्णितां या ग्रंथाचा मर्यादेचा उल्लंघ होईल. तथापि या लहान निबंधांत या बीजाची सत्यता आणि शक्ति यांचीं अनेक उदाहरणें अभ्यास करणारांसाठीं दिधलीं आहेत.

(६) यंत्रें कशींही खटपटीचीं असोत तथापि तीं वक्ष्यमाण केवल यंत्रें एकत्र योजून केलेलीं असतात. **या केवल यंत्रांस शिल्पशक्ति** ह्मणतात. तीं यंत्रें.

Lever (१) तरफ. Pully (३) कपी. Wedge (५) पाचर

Wheel & Axle (२) अक्षचक्र. Inclined plane (४) उतरण. Screw (६) मळसूत्र

या पूर्वोक्त यंत्रबीजापासून जीं फलें उत्पन्न होतात त्यांचा विस्तार व शक्ति यांकडे पाहिलें असतां हें बीजांचें वर्गीकरण फार सोपें आहे तथापि यापेक्षांही सोपें करावयास येईल. तें पुनः त्यांतील सहामधून कोणीएका यंत्राचे अवयव अधिक सोपे केल्याने करितां येईल असें नाहीं तर त्यामधून कांहींकां यंत्रांचीं मूलकारणें पाहिलीं असतां तीं यंत्रें तुल्य आहेत. दिसण्यांत मात्र भिन्न दिसतात. अक्षचक्र वस्तुतः पाहिलें असतां तरफ आहे. व पाचर आणि मळसूत्र उतरणाचें रूपांतर आहेत असें पुढें स्पष्ट होईल. यावरून सर्व प्रकारचीं केवल यंत्रें तीनप्रकारचीं आहेत असें स्पष्ट आहे. तीं अशीं.

(१) तरफ. (२) कपी. (३) उतरण.

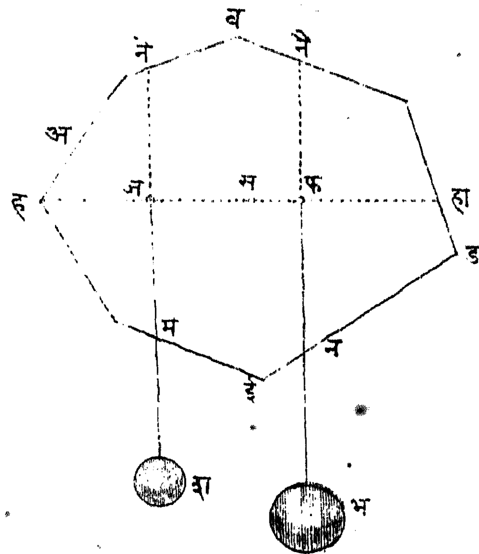
भाग २

तर्फेचा वर्णनाविषयीं

(७) जी अनम्र असून स्वभाररहित आणि कोणीएका बिंदूला केंद्र करून

ल्यून त्याजवर क्रिया करणारी अशी एक सरलरेषा तरफ आहे असें कधीं तरफेचें वर्णन करितात आणि कधीं एक अनम्र गज एका आधारावर टेंकिलेला असून त्याला केंद्र कल्पून त्या आधारावर क्रिया करीत असतो तो तरफ आहे असेंही वर्णन करितात परंतु या यंत्राचें सामान्यरूपाने वर्णन करायाचें असतां हें तरफयंत्र एक अप्रवाही पदार्थ आहे तो स्थिर आंसावर फिरायाजोगा असून त्याचे सर्व अवयव त्या आंसाभोंवतीं वर्तुळें उत्पन्न करीत असतात असें मानावें. आणि हें यंत्र शिल्पकार्याविषयीं उपयुक्त व्हावें एतदर्थ जा पृष्ठांत शक्ति आणि भार ह्मणजे प्रतिरोध क्रिया करीत असतात त्या पृष्ठावर याचा आंस लंब आहे असें सर्वदां मानावें. आणि या यंत्राचें वर्णन सहज व्हावें यास्तव पहिल्याने या यंत्राचेठायीं कांहीं भार नाहीं असें मानावें. किंवा या यंत्राचा गुरुत्वमध्यांत तो स्थिर आंस योजिला आहे असें मानावें उभयपक्षीं फल तुल्य आहे. यास्तव हें यंत्र कोणताही स्थितींत असलें तरीं स्थिर राहील. असें (१) निबंधाचे (४२) कलमांत स्पष्ट आहे. याची आकृति.

(आ. १)



या आकृतींत (अबडई) असें कोणीएका अप्रवाही पदार्थाचें छिन्नांग आहे. तें स्थिर आंसावर फिरतें. आणि जें पृष्ठ त्या आंसावर लंब आहे त्या पृष्ठांत तें छिन्नांग फिरायाजोगें आहे असें कल्पावें. आणि तो आंस छिन्नांग पृष्ठांत (स) या स्थिलीं योजिला आहे. आणि तो आंस समान आहे ह्मणून (अबडई) हें छिन्नांग लंब होईल. आतां (स) यामधून (ह स हा) अशी एक समान सरलरेषा काढिली आ-

हे असें कल्पून जो (भ) हा भार उचलावयाचा आहे तो (फ) या स्थलीं योजावा आणि त्या भाराला उचलावयाची जी (श) ही शक्ति आहे ती (ज) या स्थलीं योजावी. नंतर गुणवद्वेगाचा बीजाचा अनुरोधानें कोणत्या प्रकारें (श) ही (भ) याला उचलील असा विचार करावा. (श) खालीं येई आणि (भ) वरती जाई अशी (स) या केंद्राभोंवतीं फिरायाजोगी त्या यंत्राला गति प्राप्त झाली असतां जांशीं शक्ति आणि भार योजिले आहेत असे ते (ज) आणि (फ) हे बिंदु सदृश धनुष्यें करितील. या दोहों धनुष्यांचें (स) हें केंद्र एकच आहे परंतु (स ज. स फ) हे अर्धव्यास मात्र भिन्न आहेत. हीं धनुष्यें फार लहान कल्पिलीं असतां ज्या लंब प्रदेशांतून शक्ति आणि भार चालतात ते प्रदेश तीं धनुष्यें आहेत आणि त्या धनुष्यांचा मोठेपणा कितीही असला तरीं शक्ति आणि भार याचे लंब गतीचे प्रमाणांतच असतात. आणि हीं धनुष्यें सदृश आहेत ह्मणून अर्धव्यासाचाच प्रमाणांत असतात. याजपासून असें फलित होतें ह्मणजे ज्या बिंदूवर हीं बलें योजिलीं आहेत त्या बिंदूचा (सज) आणि (सफ) या लांबींचें असें प्रमाण असेल तसें (श) याचें लंबतेने खालीं येणें आणि (भ) याचें लंबतेने वरती जाणे प्रमाणांत होईल असें फलित होतें. अन्य प्रकारानेही हें स्पष्ट आहे. (सज) आणि (सफ) या दोन्ही लांबी शक्ति आणि भार यांचे जे लंब रेषेंतले वेग आहेत त्यांला दाखवावयास घेतल्या जातात. (सज) आणि (सफ) या लांबी (शी) आणि (भी) या अक्षरांनी दाखविल्या असतां कोणत्या प्रकारानें (श) ही शक्ति (भ) या भाराला उचलील तो प्रकार गुणवद्वेगाचा बीजाचे अनुरोधानें आहे असें होईल. (ह्मणजे (श: भ::: भी: शी) ह्मणजे ($श \times शी = भ \times भी$). याचा अर्थ असा आहे. शक्तीचे औंस आणि केंद्रापासून ज्या स्थलीं शक्ति योजिली आहे त्या स्थलाचे लांबीचा इंचां या उभयतांचा गुणाकार आणि भाराचे

जार्वीस साहेबाचें आदिकारण भुमितीचे सिद्धांतांत पाहावे.

औंस आणि केंद्रापासून जा स्थलीं भार योजिला आहे त्या लांबीच्या इंचा यां-
च्या गुणाकार हे दोन्ही समान झाले असतां शक्ति भाराला समतोलनांत ठे-
विती. औंस आणि इंचा यांवांचून दुसऱ्या प्रकारचेंही मान घेतां येतें पर-
तु भार आणि शक्ति या उभयतांविषयीं एका जातीचें मान घेतलें पाहिजे इ-
तकें मात्र ध्यानांत ठेवावें.

(८) गुणवद्वेगाचा मूलकारणापासून जें समतोलनाचें प्रमाण फलि-
त होतें तें पूर्ववत् आहे आणि परीक्षेवरून अनुभवास सहज आणितां येतें.
आतां (फ) या बिंदूवर कांहीं एका औंसांचा (भ) हा भार योजावा आणि (स
फ) यांत जितक्या इंचा आहेत त्या मोजाव्या. आतां (१२) औंसांचा भार आ-
णि (स फ) यांत (८) इंचा आहेत असें आणून समोरचे दिशेकडे (स ज) ही
लांबी (३२) इंचांची आणि भार (३) औंसांचा योजिला आहे असें कल्पि-
लें असतां समतोलन प्राप्त होईल. यास्तव ती शक्ति त्या भाराला समतोल-
नांत ठेविती असें सिद्ध होतें. कारण (३२) आणि (३) यांचा गुणाकार (९६)
आणि (१२) यांचा गुणाकाराशीं समान आहे.

आतां जर (स ज) ही लांबी (२४) इंचांची आहे असें कल्पिलें तर त्या-
च भाराला समतोलनांत राखावयासाठीं शक्ति (४) औंसांची कल्पिली पा-
हिजे. कारण (४) आणि (२४) यांचा गुणाकार पूर्व गुणाकाराशीं समान आ-
हे. सारांश केंद्रापासून जी शक्तिकडल्या दिशेची लांबी आहे ती कितीही
घेतली तथापि शक्ति भाराला समतोलनांत ठेवावयासाठीं शक्य व्हावी एतद-
र्थ शक्तीचे औंस आणि त्या लांबीच्या इंचा यांचा गुणाकार (९६) होई असें
शक्तीचें मान कल्पिलें पाहिजे. जा प्रकारांत हा गुणाकार (९६) यांपेक्षां
अधिक होतो तेथे या शक्तीचें कर्तृत्व भारापेक्षां अधिक होतें आणि जेथे
(९६) यांपेक्षां कमी होतो तेथे भाराचें कर्तृत्व अधिक होतें.

आतां (भ) हाच भार (स फ) याच लांबीवर असतां अनेका मानां-

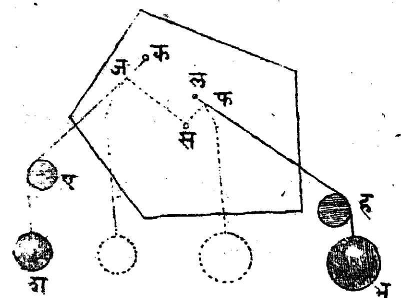
चा

चा शक्तींनी समतोलनांत ठेवितां येईल असें फलित होतें. सारांश कोणत्या ही मानाची शक्ति ह्मणजे मोठी किंवा लहान कशीही असली तरीं तिचाने तो भार समतोलनांत ठेवितां येईल परंतु शक्तिकडली लांबी आणि शक्ति यांचा गुणाकार भार आणि त्याची लांबी यांचे गुणाकाराशीं समान होई अशी ती शक्तीची लांबी न्यूनाधिक कल्पिली पाहिजे.

जा दोऱ्यांनी शक्ति आणि भार उचलिले आहेत त्या दोऱ्या (जम) (फन) या रेषांत कोणत्याही बिंदूशीं योजिल्या किंवा (ज) (फ) या दोहों बिंदूचे वरही (जने) आणि (फनै) या रेषांत कोणत्याही बिंदूशीं योजिल्या तथापि शक्ति आणि भार यंत्राला (स) या केंद्राभोंवतीं फिरवावयाविषयीं जे यत्न करितात ते यत्न समान आहेत असें स्पष्ट आहे. यास्तव केंद्रापासून शक्ति आणि भार यांचा लांबी मोजायासाठीं जा बिंदूशीं शक्ति आणिभार योजिले आहेत त्या बिंदूंचा केंद्रापर्यंत जा लांबी आहेत त्या घेऊं नयेत तर जा दिशांत भार आणि शक्ति क्रिया करितात त्या (नेम) (नैन) या दिशांवर (स) केंद्रापासून जा लंबरेषा गेल्या आहेत त्या घ्याव्या उदाहरण (म) आणि (न) या स्थलांचेठायीं शक्ति आणि भार योजिले असतांही केंद्रापासून (सज) आणि (सफ) याच त्याचा लांबी आहेत असें जाणावें.

या प्रकारें शक्ति भार यांचा समांतर दिशांचें उदाहरण सांगितलें. आतां शक्ति आणि भार यांचा दिशा कदाचित् समांतर नसल्या तथापि त्यांचा लांबी घ्यावयाचा त्या गतीचे केंद्रापासून शक्ति आणि भार यांचा दिशांवर जा लंबरेषा आहेत त्या रेषा घ्याव्या.

(आ. २)



आकृति (२) या आकृतींत जा बिंदूवर भार योजिला आहे तो बिंदु (ल) आहे आणि जा दोऱ्याला भार बांधिला आहे तो दोरा

रा

रा (ह) या चक्रावरून सोडिला आहे आणि जा बिंदूवर शक्ति क्रिया करिती तो बिंदु (क) आहे आणि त्या शक्तीला बांधिलेला दोरा (ए) या चक्रावरून सोडिला आहे. या प्रकारांत (लह) ही भाराची दिशा आणि (कए) ही शक्तीची दिशा आहे.या दोहों दिशांवर (सफ) आणि (सज) या लंबरेषा घेतल्या असतां समतोलनाचें प्रमाण पूर्ववत् होईल ह्मणजे (श) ही शक्ति आणि (सज) ही लंबरेषा यांचा गुणाकार (भ) हा भार आणि (सफ) ही लंबरेषा यांचा गुणाकाराशीं समान आहे. हें परीक्षेचे रीतीचे अनायासाने स्पष्ट केलें जाईल.

कोणीएका पदार्थाला आपल्या आंसाभोंवतीं फिरवावयासाठीं जो बलाचा यत्न आहे तो आंसापासून बलाचा दिशेवर जी लंबरेषा आहे त्या रेषेने तें बल गुणिलें असतां त्या गुणाकाराने मोजिला जातो. हें उक्त प्रकारावरून स्पष्ट आहे.या असल्या गुणाकाराला आंसाभोंवतें फिरविणारें जें बल आहे त्या बलाचे आंसाभोंवतालचें चालकत्व ह्मणतात. हें मूलकारण फार मोठ्या उपयोगाचें आहे यास्तव वक्ष्यमाण रीतीने कांहीं अधिक स्पष्ट करितो.

(९) चालकत्व द्विगुण किंवा अर्धित अथवा कोणत्याही प्रमाणाने अधिक किंवा उणें केलें असतां यंत्राला आपल्या आंसाभोंवतें फिरवावयाचें जें बलाचें कर्तृत्व आहे तेंही तसेंच होतें. असें ठरविलें असतां हा सिद्धांत ह्मणजे "कोणीएका यंत्राला आंसाभोंवतीं फिरवावयाचें जें बलाचें कर्तृत्व आहे तें त्या बलाचा चालकत्वाने मोजिलें जातें" तो अधिक स्पष्ट होतो. हें परीक्षेने अनायासाने स्पष्ट केलें जाईल.

(भ) या भाराला (सफ) या रेषेवर जी लंबरेषा आहे त्या रेषेने क्रिया करूं द्यावी. नंतर (भ) हा भार द्विगुण किंवा अर्धित किंवा कोणत्याही प्रमाणाने अधिक उणा केला असतां यंत्राला (स) या आंसाभोंवतीं फिरवावयाविषयीं जें त्या भाराचें कर्तृत्व आहे तेंही तसें होईल. ही सत्यता स्वतः स्पष्ट आहे असें मानितो.

(सज) या इतक्या लांबीवर जी (श) ही शक्ति आहे ती (सफ) इतक्या लांबीवर जो (भ) हा भार आहे त्याला समतोलनांत ठेविती. असें आहे यास्तव (श×सज) हा गुणाकार (भ×सफ) या गुणाकाराशीं समान आहे. आतां (श ×सज) हें चालकत्व द्विगुण विवक्षित असतां (श) ही शक्ति किंवा केंद्रापासून (सज) ही लांबी आहे ती द्विगुण केली पाहिजे अथवा दोन्हीं वाढविल्या पाहिजेत. अशा प्रकारांत समतोलनांत राखावयाविषयीं (भ×सफ) हें चालकत्व त्याच रीतीने द्विगुण केलें पाहिजे हें स्पष्ट आहे. आणि जर (सफ) ही लांबी तशीच ठेविली तर भार द्विगुण केल्यानेच तें कार्य घडतें. यास्तव (श×सज) हें द्विगुणचालकत्व (सफ) या पूर्वोक्त लांबीवर जो द्विगुणभार आहे त्याला समतोलनांत ठेवितें. यास्तव यंत्राला केंद्राभोंवतीं फिरवावयाविषयीं या चालकत्वाला द्विगुण कर्तृत्व आहे असें सिद्ध होतें. (श) ही शक्ति किंवा (सज) ही लांबी अथवा दोन्हीं बदलून (श×सज) हें चालकत्व कोणत्याही प्रकाराने बदलिलें असतां (भ) या भारालाही (सफ) ही लांबी न बदलतां त्याच प्रकारचे परिणाम सोसावे लागतात हेंही पूर्ववत् स्पष्ट आहे. आणि या प्रकारांत यंत्राला केंद्राभोंवतीं फिरवावयाविषयीं जो यत्न आहे तो (भ) या भाराचे प्रमाणांत आहे.

(१०) आतां "यंत्राला आपल्या आंसाभोंवतीं फिरवावयाविषयीं जो बलाचा यत्न आहे तो त्या आंसाभोंवतीं फिरवावयाविषयीं जें बलाचें चालकत्व आहे त्याणे शुद्धतेने मोजिला आहे" असा सिद्धांत करितां येतो

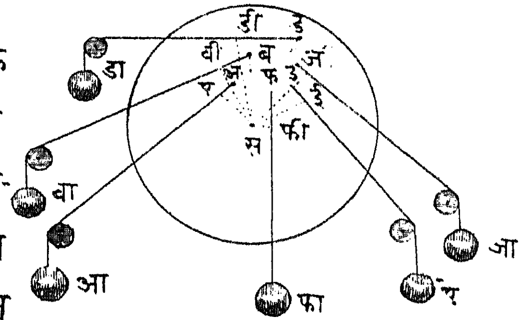
आतां जर अनेक बलें कोणीएका पदार्थाला आपल्या आंसाभोंवतीं फिरवावयाविषयीं यत्न करितात तर एका दिशेकडे जीं बलें पदार्थाला फिरवावयाविषयीं यत्न करितात त्या बलांचा चालकत्वांची बेरीज दुसऱ्या दिशेकडे फिरवावयाविषयीं जीं बलें यत्न करितात त्यांचा चालकत्वांचे बेरीजेशीं समान असलीं तर तीं बलें पदार्थाला समतोलनांत ठेवितील. कारण

रण पदार्थाला एका दिशेकडे फिरवावयाविषयीं जे यत्न आहेत त्यांची बेरीज दुसऱ्या दिशेकडे त्याला फिरवावयाविषयीं जे यत्न आहेत त्यांचा बेरीजेशीं समान आहे हें सांगीतलें आहे.

हें सर्व तरफेचें सामान्य रूपाने वर्णन केलें आहे तें पुढें परीक्षेचा रीतीने स्पष्ट केलें जाईल.

आकृति (३) या आकृतींत (स) या समान आंसावर फिरणारी एक चक्राकार वर्तुळ फळी आहे तिचें पृष्ठ ऊर्ध्वाधर सपाटींत आहे. त्या फळीचे पृष्ठावर (अ ब ड इ फ) या खुंट्यांला दोरे बांधून भिन्न भिन्न दिशांकडे स्थिर आंसावर फिरत्या चक्रांवरून सोडून त्यांचा शेवटांला भार बांधिले आहेत जसें आकृतींत दाखविलें आहे. तें भार फळीला ओढीत असतां ती समतोलनाचे अवस्थेंत येई तोंपर्यंत

(आ-३)



तिला स्थिर होऊं द्यावी. नंतर त्या दोऱ्यांचा दिशांवर (स) या केंद्रापासून (सए) (सबी) (सडी) (सई) इत्यादि लंबरेषा काढून त्यांचा लांबी मोजाव्या. नंतर (आ बा डा) या भारांनी (सए) (सबी) (सडी) या लंबरेषा गुणाव्या. नंतर (आ × सए) (बा × सबी) (डा × सडी) असे गुणाकार सिद्ध होतात. हे प्रत्येक गुणाकार एका दिशेकडे फळीला फिरवावयाविषयीं प्रत्येका भाराचा जो यत्न आहे त्याला दाखवितात. पुनः (ऐ) (फा) (जा) हे दुसऱ्या दिशेकडले भार (सई) (सफी) (सजी) या लंबरेषांनी गुणावे. नंतर (ऐ × सई) (फा × सफी) (जा × सजी) असे गुणाकार सिद्ध होतात. हे प्रत्येक गुणाकार दुसऱ्या दिशेकडे फळीला फिरवावयाविषयीं प्रत्येका भाराचा यत्नाला दाखवितात. आतां पहिल्या गुणाकारांची बेरीज दुसऱ्या गुणाकारांचा बेरीजेशीं समान आहे असें सिद्ध होतें * ह्मणजे (आ × सए + बा × सबी + डा ×

* शिल्पविद्येचा या ग्रंथांत जे विचार आहेत ते आदिकारणभुमिती किंवा बीजगणीत यां

सडी = ऐ × सई + फा × सफी + जा × सजी) असें होतें. स्पष्टार्थ फळीला एका दिशेकडे फिरवावयाविषयीं जे यत्न आहेत त्यांची बेरीज दुसऱ्या दिशेकडे फिरवावयाविषयीं जे यत्न आहेत त्यांचा बेरीजेशीं समान आहे.

(११) आंस फळीचा गुरुत्वमध्यांतून शिरला आहे असें सर्वदां कल्पिलें आहे यास्तव यंत्राचा स्वकीय भाराविषयीं अद्यापि विचार केला नाहीं. यंत्राचा स्वकीय भाराविषयीं विचार करावयाचा असला तर जे भार किंवा जीं बलें यंत्रावर योजिलीं आहेत त्यांतलें एक बल तो यंत्राचा भार आहे. आणि हें बल गुरुत्वमध्यावर ऊर्ध्वाधर दिशेंत योजिलें आहे इतकेंमात्र जाणावें. उदाहरण पूर्व परीक्षेंत (आ बा डा जा ऐ) हे भार जीं बलें फळीवर क्रिया करितात तींच आहेत. (फ) हा फळीचा गुरुत्वमध्य आहे. आणि जी ऊर्ध्वाधर दिशा (फ) यामधून आहे त्या दिशेंत क्रिया करणारा (फा) हा फळीचा स्वकीय भार आहे असें कल्पिलें असतां पूर्वींचा ठरविलेला नियम बदलणार नाहीं तसाच राहील. आतां (फा) जो भार आहे तो भार (फ) या फळीचा गुरुत्वमध्यावर जमून राहिलेला फळीचा भार आहे असें कल्पिलें आहे एथे इतका मात्र भेद आहे.

(१२) जीं बलें पदार्थाला एका दिशेकडे फिरवावयाविषयीं यत्न करितात त्या बलांचा यत्नांचा चालकत्वांची बेरीज समोरचा दिशेकडे पदार्थाला फिरवावयाविषयीं जीं बलें यत्न करितात त्यांचा यत्नांचा चालकत्वांचा बेरीजेहून अधिक असली तर तो पदार्थ पहिल्या बलांचा दिशेंत आपल्या केंद्राभोंवतीं चलित होईल असें एथे सांगावयाचें फार अगत्य नाहीं.

चीअपेक्षा प्रायः सोडून आबालवृद्धांस समजाया जोगे केले आहेत तथापि बीजादिकांचीपरिभाषा ज्ञात असली तर अभ्यास करणाराचा प्रवेश या ग्रंथांत फार लवकर होईल.

भाग ३

यांत तीन जातींचा सरल तरफा.—

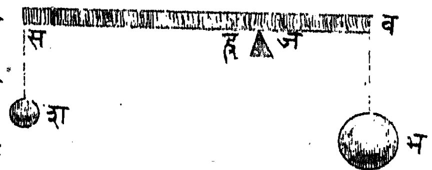
तरफेवर अनेक भारांची योजना.— दांडेवर भार थो जून दोहों आधारांवर ती स्तब्ध करणें.— तरफेचें आधारावरचें चेपण.— नवघणाने उचललेले भार.—यां चें निरूपण केलें आहे.

(१३) तरफ एक गज असून तो एका आधारावर आधारिलेला आहे असें समजलें असतां शक्ति आणि भार यांचा स्थितींचा संबंध आधाराशीं जसा असतो तशा या तरफा तीन जातींचा झाल्या आहेत.

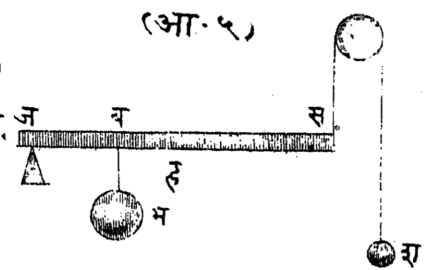
जा तरफेचेठायीं आधार, शक्ति आणि भार यांचामध्यें असतो ती पहिल्या जातीची तरफ जाणावी. आणि भार, शक्ति आणि आधार यांचामध्यें असतो ती दुसऱ्या जातीची आणि शक्ति, भार आणि आधार यांचामध्यें असतो ती तिसऱ्या जातीची तरफ जाणावी.

(१४) (आकृति ४) या आकृतींत पहिल्या जातीची तरफ दाखविली आहे. पहिल्याने गजाचा स्वकीय भाराविषयीं विचार न करीत असतां किंवा हिचा गुरुत्वमध्य (अ) या आधारावर नीट ठेविला आहे असें कल्पिलें असतां तरफेला आपआपल्या दिशेंत फिरावयाविषयीं शक्ति आणि भार याचे यत्न असे आहेत ह्मणजे (श×शी) आणि (भ×भी) असे आहेत. (सज) आणि (बज) या लांबी (शी) आणि (भी) या आहेत. आतां तरफेला समतोलनांत राखावयाची असतां हे दोन्ही

(आ. ४)

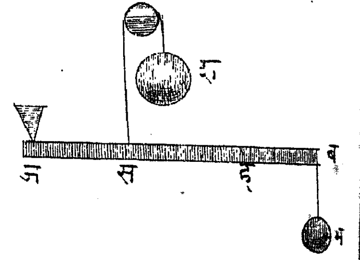


(आ. ५)



तिसऱ्या जातीची तरफ दाखविली आहे.

(आ. ६)



पहिल्या जातीचा तरफेचे वर्णनांत शक्ति आणि भार यांविषयीं जो विचार सांगीतला तसाच या दोहों तरफांविषयींही आणावा.

(१८) (श × शी) हा गुणाकार (भ × भी) या गुणाकाराशीं समान असावा असें सरल तरफेविषयीं समतोलनाचें प्रमाण आहे. यास्तव (शी) या शक्तीची (शी) ही आधारापासून लांबी अपरिमित प्रमाणाने वाढविली असतां (श) ही शक्ति अपरिमित प्रमाणाने कमी केली जाईल असें फलित होतें कारण (श) ही शक्ति कमी केल्याने जितकें (श × शी) या गुणाकाराचें मान कमी होतें तितकें (शी) ही लांबी वाढविल्याने तें अधिक होतें.

एक दुसरी युक्ति आहे त्या युक्तीने आधारापासून जी लांबी आहे तिला तशीच ठेवून जी शक्ति तरफेचा योगाने कोणी एका भाराला उचलिती तिला अपरिमित प्रमाणाने कमी करितां येती. ती अशी (भ × भी) हा गुणाकार (श × शी) या गुणाकाराशीं समान होई तोंपर्यंत आधारापासून जी (भी) ही लांबी आहे तिला कमी करावी.

सारांश आधारापासून शक्तीची लांबी जशी जशी अधिक केली आणि आधारापासून भाराची लांबी जशी जशी उणी केली तसें तसें या यंत्राचें शिल्प कर्तृत्व वाढतें.

(१९) दुसऱ्या जातीचे तरफेचे ठायीं शक्ति आधारापासून भारापेक्षां अधिक दूर असती यास्तव ती भारापेक्षां अवश्य कमी आहे. तिसऱ्या

जातीचे

त क्रिया करितात ह्मणजे दोन्ही खालचेकडे किंवा दोन्ही वरचेकडे क्रिया करितात. दुसऱ्या आणि तिसऱ्या जातीचा तरफांचे ठायीं विरुद्ध विरुद्ध दिशांत क्रिया करितात हेंही स्पष्ट आहे.

तिसऱ्या जातीचे तरफेचे ठायीं शक्ति भारापेक्षां अधिक आहे ह्मणून शिल्पहानि आहे. यास्तव जा समयीं शक्तिवांचून केवळ वेगच अपेक्षित आहे त्यासमयीं मात्र या जातीची तरफ उपयोगांत घेतात. तात्पर्य "आधारापासून शक्ति आणि भार यांचा लांबी जशा जशा असतात तसे तसे त्यांचे वेग असतात." हें (७) कलमांत स्पष्ट आहे. तें ध्यानांत आणावें.

(१७) जर गजाचा गुरुत्वमध्य आधारावर नसला तर गजाचा भार गणनेंत घेतला पाहिजे. या भाराला (ज) ह्मणावा. आणि आधारापासूनजी गुरुत्वमध्याची लांबी आहे तिला (जी) ह्मणावी. याचें चालकत्व (ज × जी) आहे. जर हें बल तरफेला शक्तीचा दिशेंत फिरवावयास प्रेरक होतें तर समतोलनाचें प्रमाण असें आहे ह्मणजे

(श × शी + ज × जी = भ × भी) असें आहे.

परंतु जर हें बल भाराचे बळाचें सहाय असलें तर तें प्रमाण असें आहे ह्मणजे

(श × शी = भ × भी + ज × जी) असें आहे.

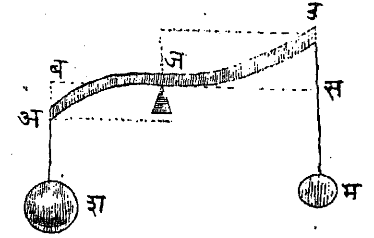
जर तरफ सारिख्या जाडीची असली तर गुरुत्वमध्य तिचे मधल्या बिंदूवर होईल. पहिल्या जातीचा तरफेचे ठायीं तिची सर्व लांबी (शी + भी) याशीं समान आहे यास्तव (४) आकृतींत जर (ह) हा गुरुत्वमध्य असला तर (सह) ही लांबी ($\frac{१}{२}$ शी + $\frac{१}{२}$ भी) याशीं समान आहे. (हज) ह्मणजे (जी) ही लांबी (सज–

सह

दुसऱ्या आणि तिसऱ्या जातींचा तरफांचेठायीं त्यांची जाडी एकसारिखी असली आणि आधाराचे एका दिशेकडे त्या तरफा लांबल्या आहेत असें कल्पिलें तर आधारापासून गुरुत्वमध्याची लांबी भुजाचा अर्धाशीं समान आहे परंतु जर त्या तरफा दोहों दिशांकडे लांबल्या तर ती लांबी उक्तप्रकारचा लांबी सारिखी आहे.

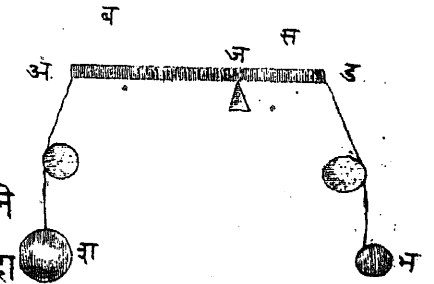
(१८) जर तरफचे भुज सरल नसले ह्मणजे वक्र असले जसे (७) आकृतींत दाखविले आहेत तर शक्ति आणि भार यांचा दिशांवर आधारापासून (जब) आणि (सज) या जा लंबरेषा आहेत त्या (शी) आणि (भी) या लांबी आहेत. आतां हें समतोलनाचें प्रमाण तसेंच राहतें ह्मणजे (श × शी) = (भ × भी). असें (७) कलमांत पाहावें.

(आ. ७)



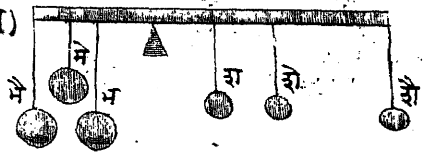
(१९) जर शक्ति आणि भार समांतर नसले ह्मणजे जसे (८) आकृतींत दाखविले आहेत तसे असले तर तरफेचाठायीं जा दोऱ्या शक्ति आणि भार यांणी ओढिल्या आहेत त्या दोऱ्यांवर आधारापासून जा लंबरेषा आहेत त्या (शी) आणि (भी) या लांबी आहेत.

(आ. ८)



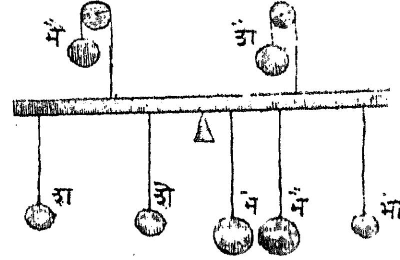
(२०) जर अनेक भार आधाराचा दोंहों बाजूंवर निर्निराळ्या लांबींवर क्रिया करितात जसें (९) आकृतींत दाखविलें आहे किंवा दोंहों बाजूंवर निर्निराळ्या लांबीवर विरुद्ध विरुद्ध दिशांत क्रिया करितात जसें (१० आकृतींत) दाखविलें आहे तर समतोलनाचें प्रमाण (१०) कलमा प्रमाणे

(आ. ९)



प्रमाणें प्राप्त होतें ह्मणजे यंत्राला एका दिशेंत फिरवावयाविषयीं जीं सर्व बलें आहेत त्यांचा चालकत्वांची बेरीज दुसऱ्या दिशेंत फिरवावयाविषयीं जीं बलें आहेत त्यांचा चालकत्वांचे बेरीजेशीं समान आहे.

(आ १०)



या प्रकारें. जर तरफेला एका दिशेंत फिरवावयाविषयीं जे अनेक भार आहेत ते (श शे शै) असले आणि आधारापासून त्यांचा जा लांबी आहेत त्या (शी प पे) या असल्या आणि जे भार तिला समोरचा दिशेंत फिरविणारे आहेत ते जर (भ भे भै भो) हे असले आणि आधारापासून त्यांचा लांबी (भी व वे वै) या असल्या तर समतोलनाचें प्रमाण असें आहे ह्मणजे (श×शी+शे×प+शै×पे=भ×भी+भे×व+भै×वे+भो×वै) असें आहे.

जर गुरुत्वमध्य आधारावर नसला तर (अ×जी) हें चालकत्व यांतल्या जा सहवर्तमान यंत्राचा भार क्रिया करितो त्याशीं मिळवावयास पाहिजे.

(२१) पहिल्या जातीचा तरफांचीं उदाहरणें बहुत आहेत. तीं अशीं कातर वाघी आणि इतर असल्या जातीचीं यंत्रें आहेत. हीं दोहों तरफांचीं आहेत आणि जा खिळीनें त्या तरफा जोडिल्या आहेत ती खीळ त्यांचा साधारण आधार आहे. धोंडे उचलावयासाठीं किंवा इतर कार्यासाठीं जी पहार घेतात ती पहिल्या जातीची तरफ आहे. पोहे कुटावयाची लाट ही यांचें एक उदाहरण आहे. जा दांड्यावर ती ठेविली आहे तो दांडा तिचा आधार आहे.

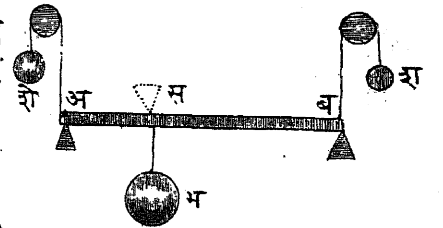
दुसऱ्या जातीचा तरफा इतक्या नाहींत परंतु त्यांचीं उदाहरणें अनेक आहेत. त्यांमधून होडीचें वल्हें त्यांचें एक उदाहरण आहे. एथे जा पाण्यावर त्याचें पात चेपीन असतें तें पाणी आधार आहे होडी भार आहे आणि वल्हें ओढणाराचा हात शक्ति आहे. बाचें या जातीचें तरफेचें दुसरें एक उदाहरण आहे. बीजागऱ्यांवर फिरणाऱ्या दाराची फळी व फेटीचें झांकण अडकिना [illegible]

तिसऱ्या जातीचा तरफा यांचेठायीं शिल्पहानि होत असती असें सांगितलें आहे यास्तव यांचीं उदाहरणें फार प्रसिद्ध नाहींत. जेथे मोठ्या बळाचे उपयोगापेक्षां त्वरेचा उपयोगाची गरज अधिक लागती त्या प्रकारांत मात्र ही तरफ कामांत घेतात. या तरफेचीं जीं सर्वांहून चांगलीं स्पष्ट उदाहरणें आहेत तीं सांगतो. जीवांचा शरीरावयवांची रचना या तरफेचा उदाहरणानुरूप अस्थि संधित बसवून स्नायूंनी बद्ध केलेलीं आहेत. जीवांस स्वशरीरावयवांचा उपयोग सोईने घडण्याविषयीं ही रचना फार योग्य आहे. कारण या प्रकारांत मोठ्या बळाचे उपयोगापेक्षां फार करून त्वरेचा उपयोग विशेष आहे. केश उपटायाचा चिमटा सोनाराचा चिमटा या तरफेचीं उदाहरणें आहेत.

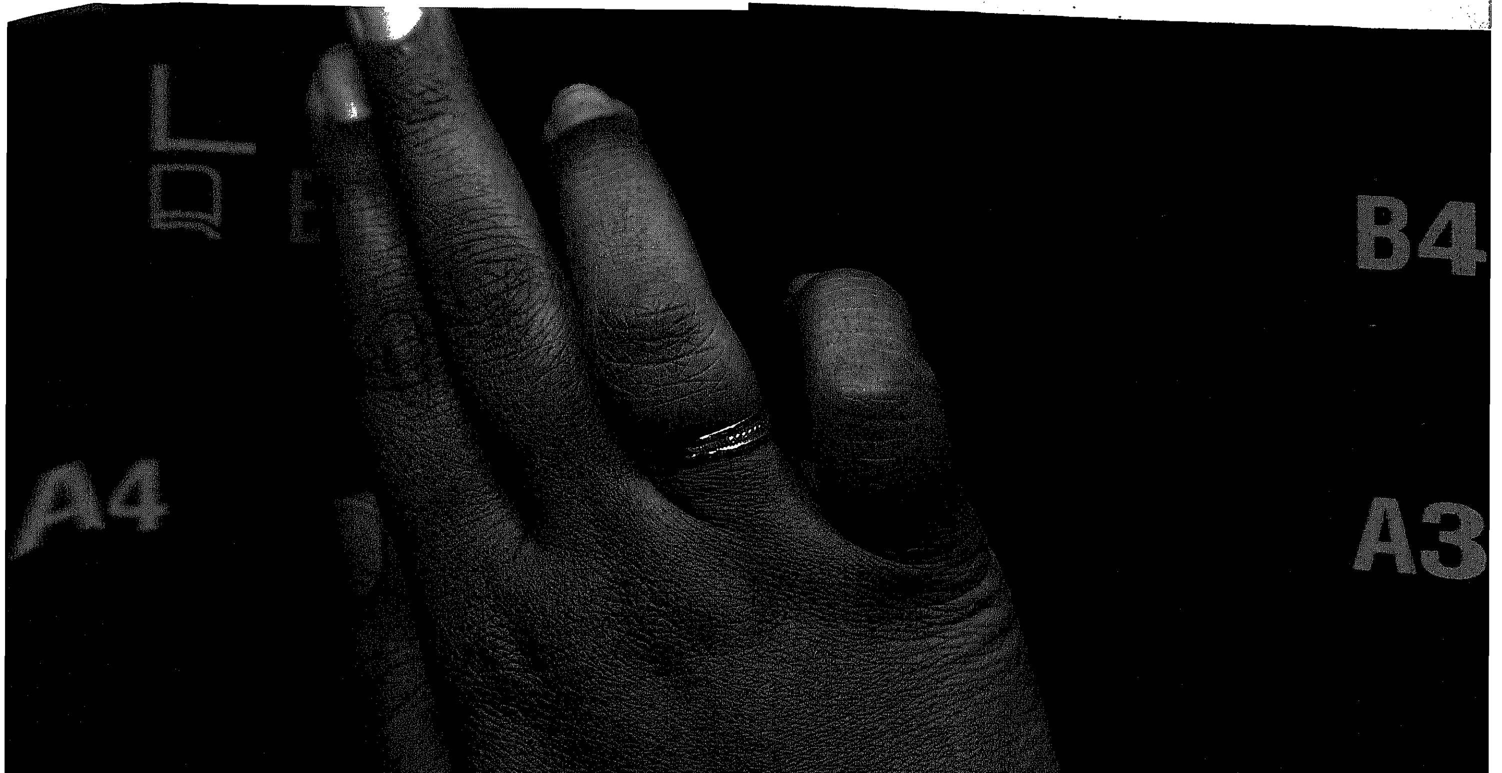
शिडी उचलीत असतां प्रारंभीं ती दुसऱ्या जातीची तरफ होऊन नंतर तिसऱ्या जातीची तरफ होती. ती अशी शिडीचा टेंकिलेला शेवट आणि उचलणाराचे हात या दोहोंचे मध्ये जोंपर्यंत गुरुत्वमध्य असतो तोंपर्यंत ती दुसऱ्या जातीची असती आणि जेव्हां हात गुरुत्वमध्याचे अलीकडे होतात तेव्हां ती तिसऱ्या जातीची तरफ होती.

(२२) जो गज दोंहों आधारांवर असून भाराला उचलितो तो तरफेचा मूलकारणाप्रमाणे क्रिया करितो. जसें (११) आकृतींत दाखविलें आहे त्याप्रमाणे (ब) हा आधार काढून त्याचे स्थानी (श) ही शक्ति योजिली आहे असें कल्पिलें असतां (भ) या भाराचें (ब) या आधारावर

(आ ११)



रावर



ण आहे [illegible]

$\frac{बस}{अब}$) यास्तव प्रत्येका आधारावर भाराचें अमुक अपूर्णांकरूप[*] अंशाचें चेपण आहे असें ज्ञात होतें. स्पष्टार्थ त्या अपूर्णांकांतला भाज्य दुसऱ्याकडली जी आधारापासून भाराची लांबी आहे ती आहे आणि जांतला भाजक दोहों आधारांमधील लांबी आहे.

दोहों चेपणाची बेरीज भाराशीं समान आहे आणि आधारापासून भाराचा जा लांबी आहेत त्या लांबीचा व्यस्तप्रमाणानें[†] तो भार दोहों आधारांवर वांटिला आहे असें पूर्वोक्तावरून सिद्ध होतें.

(२३) दुसऱ्या किंवा तिसऱ्या जातीच्या तरफेच्या आधारावर जें चेपणआहे तें शक्ति आणि भार यांचे अंतराशीं समान आहे असें अनायासें सिद्ध होतें. स्पष्टार्थ (अ) आधार (भ) भार (श) शक्ति आहे असें मानिलें असतां पहिली तरफ दुसऱ्या जातीची तरफ होती आणि (शो) हें आधारावरचें चेपण होतें. आणि जें पूर्वीं स्थापिलें आहे त्यावरून (शो) हें चेपण (भ) आणि (श) यांचें अंतर आहे. आणि (श) भार (भ) शक्ति आहे असें मानिलें असतां ती तरफ तिसऱ्या जातीची होती. याविषयींही उक्तप्रकारचा विचार उपयुक्त पडतो.

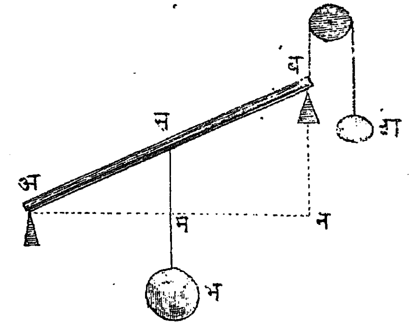
ज्याचें तोंड खालच्याकडे आहे असा (स) हा आधार ठेवून (भ) हा भार काढिला आणि (अब) या आधारांचा स्थानी त्याच बिंदूवर (शो) आणि (श) या शक्ति क्रिया करीत असतात तर (स) या आधारावर जें चेपण आहे तें

---

* अपूर्णांक ह्मणजे सच्छेद अंक.

† व्यस्तप्रमाण ह्मणजे व्यस्तत्रैराशिक.

(२४) जो गज भाराला उचलितो तो समान स्थितींतल्या आधारांवर टेंकून राहिला आहे असें (२२) कलमांत कल्पिलें आहे परंतु तो गज समान सपाटीवर तिरकस असून आधारावर त्याच प्रमाणाने भार वांटिला असतां जो सिद्धांत पूर्वी केला आहे तो या विषयींही वास्तविक आहे.


(आ. १२)

(१२) आकृति. या आकृतींत (अब)तसा गज आहे. या गजाला उक्त प्रकारें (ब) याआधाराचा स्थानी चक्रावर क्रिया करणारी (श)ही शक्ति योजावी आणि जा लंबरेषेंत (ब) यापासून शक्तीला बांधलेली दोरी आहे ती रेषा (बन) आणावी. आणि (सम) भारांची दिशा आणावी. असें आणिलें असतां ही दुसऱ्या जातीची तरफ आहे आणि (१४) कलमावरून असें फलित होतें ह्मणजे (शः भः: अमः अन) परंतु (सम) आणि (बन) या रेषा समांतर आहेत ह्मणून आदिकारण भूमितीचाप्रमाणे असें फलित होतें ह्मणजे (शः भ:: असः अब) किंवा (श = भं × $\frac{अस}{अब}$). हें फल (अब) हा गज समान आहे असें कल्पून (ब) या आधारावरचा चेपणाचें जें मान प्राप्त झालें तसेंच आहे.

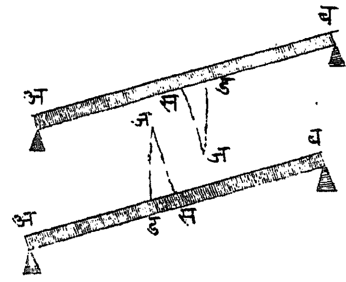
यास्तव गज समान किंवा तिरकस कसाही असो तथापि आधारांवरभार एकाच प्रमाणाने वांटिला जातो असें दिसतें.

जा समयीं भार गजाचे मधल्या बिंदूवर योजिला आहे तेव्हां आधारावर तो भार समतेने वांटिला जातो ह्मणजे एका एका आधारावर त्याचा अर्ध

अर्ध

लें आईल. तें या प्रकारें दोघे मनुष्य दोहों शेवटांला लागून भार नवघणाचे मध्यस्थलीं योजिला असला तर तीं मनुष्यें अर्धा अर्धा भार उचलितील. आणि त्या नवघणाचा आंगांत मध्यस्थलीं भाराचा गुरुत्वमध्य असला तर भाराचा वांटणीची समता तीं मनुष्यें समान सपाटीवर किंवा उतरत्या भूमीवर चाललीं तरीही तशीच असती. आणि गुरुत्वमध्य नवघणाचे वर किंवा खालीं असला आणि चढण किंवा उतरण यावर मनुष्यें असलीं तर तो भार समतेने वांटला जात नाहीं. हा प्रकार (१३) आकृतींत दाखविला आहे या आकृतींत (अब) या नवघणाचे खालीं (ज) हा भाराचा गुरुत्वमध्य आहे आणि (अ) यामधून (अड) ही ऊर्ध्वाधर रेषा आहे. आतां भार संचित होऊन गुरुत्वमध्यावर आहे अशा प्रकाराने क्रिया करितो ह्मणून (ड) या बिंदूशीं भार योजिला असतां जें कार्य उत्पन्न करील तसेंच कार्य एथे तो भार उत्पन्न करितो. यास्तव (अ) आणि (ब) या दोहों मनुष्यांवर (बड) आणि (अड) यांचे प्रमाणांत तो भार वांटिला आहे. यास्तव (ब) या वरचा मनुष्यावर अधिक चेपण करितो.

(आ-१३)

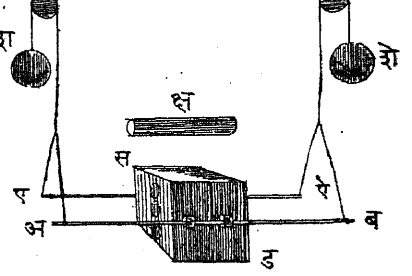


आणि दुसऱ्या पक्षीं गुरुत्वमध्य नवघणाचे वर असला असें (१४) आकृतींत दाखविलें आहे तर भार (ड) एथे असून क्रिया करितो. अशी क्रिया करीत असतां (अ) आणि (ब) या दोहों मनुष्यांवर (बड) आणि (अड) यांचे प्रमाणांत तो भार वांटिला जातो. यास्तव (अ) या खालचे मनुष्यावर



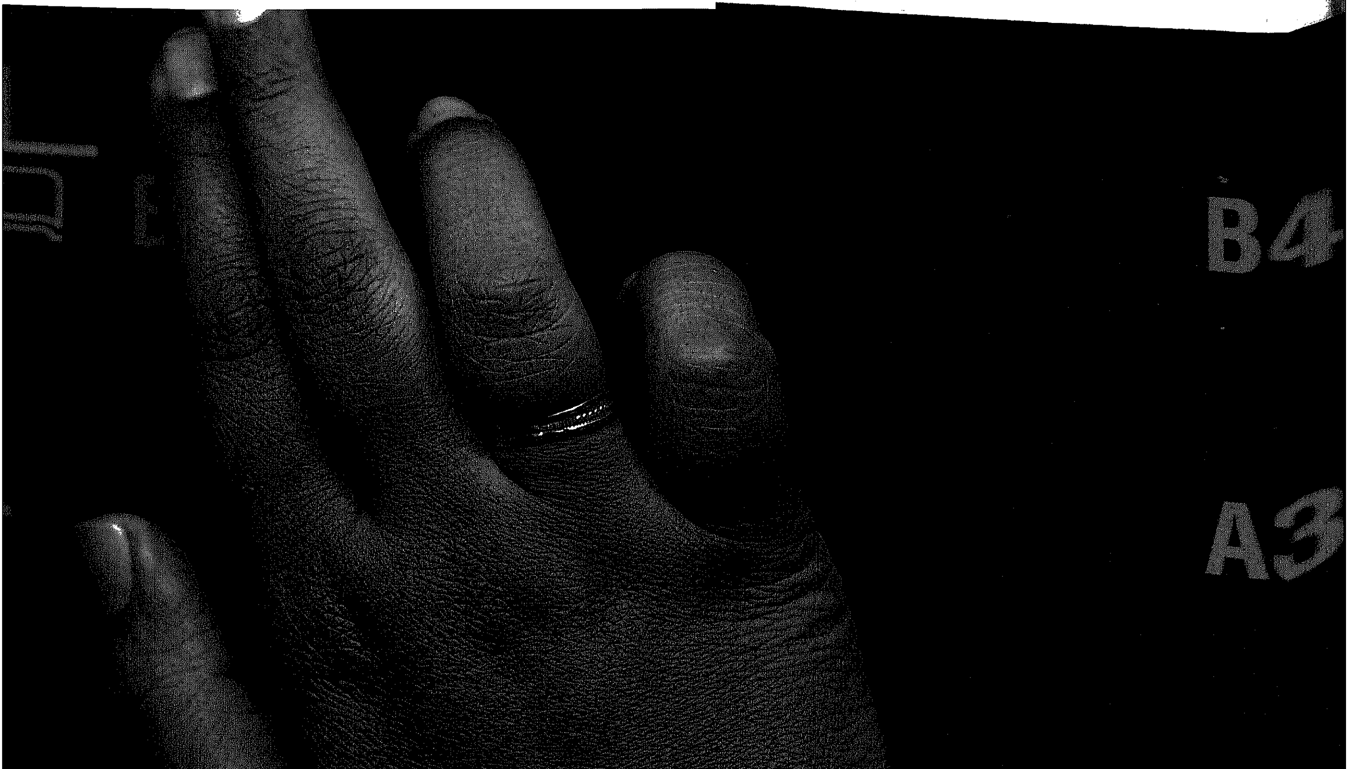


णि (सड) हा लांकूडाचा ठोकळा घेऊन त्याला तीन छिद्रें करून त्या प्रतिछिद्रांत (क्ष) हा सिलिंडराचा आकाराचा शिंशाचा तुकडा शिरे असा तो ठोकळा करावा. आणि त्याला त्या दोहों गजांचेमध्ये जोडा वा. नंतर मध्यछिद्रांत शिंशाचा तुकडा घातला अ



सतां गुरुत्वमध्य गजांचे मध्यें होई आणि वरचे किंवा खालचे छिद्रांत तो शिंशाचा तुकडा घातला असतां गुरुत्वमध्य त्याचे वर किंवा खालीं होई अशा प्रकारें हें यंत्र योजावें. गजाचा अग्रांशीं दोऱ्या योजून जसें आकृतींत दाखविलें आहे तसें त्यांला चक्रावरून सोडून शिंशाचा तुकडा गजाचा मध्य छिद्रांत घालून (श) आणि (शे) या समान भारांनी सर्व यंत्राला समान स्थितींत ठेवावें. आतां जा दोऱ्यांनी (श शे) हे भार क्रिया करितात त्या दोऱ्या समांतर राहिल्या असतां तें यंत्र समान सपाटीवर तिरकस ठेविलें तरीं तेच समान भार यंत्राला धरितील. आतां तो शिंशाचा तुकडा मध्यछिद्रांतून काढून वरचे छिद्रांत घातला तर ते भार यंत्र समान स्थितींत असलें तरच त्याला धरितील परंतु तिरकस स्थितींत ठेविलें असतां त्याला तिरकस स्थितींत राखावयासाठीं खालचे अग्राला जो भार आहे त्या भाराला अधिक केला पाहिजे आणि वरचे अग्राला जो भार जोडिला आहे त्याला कमी केला पाहिजे. आतां जर तो शिंशाचा तुकडा खालचे छिद्रांत घातला तर त्या यंत्रास तिरकस ठेवावयासाठीं वरचे अग्राला जो भार जोडिला आहे त्याला अधिक करून खालचा अग्राचा भाराला कमी केला पाहिजे.

या



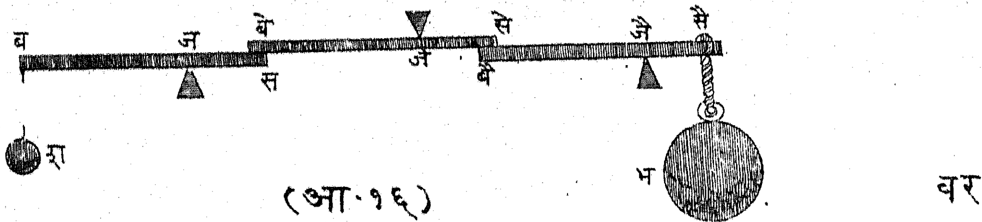
भाग ४

या भागांत समुदित तरफ.—

काटकोनाकर तरफ.—तुलायंत्र.—केवळ यंत्रें आणि यंत्रसमूह यांचें कार्य तुल्यतरफांनी दाखविणे.—यांचें निरूपण केलें आहे.

(२६) जा यंत्राचे ठायीं शक्तीची क्रिया भारावर तरफांचा परंपरेने होत असती अशा प्रकारचा यंत्राला तरफांचा संघात किंवा समुदिततरफ ह्मणतात. एक सामान्यप्रमाण आहे तें सर्व तरफांचा संघाताविषयीं उपयुक्त होतें ह्मणजे तरफांची रचना जेव्हां समतोलनांत असती तेव्हां जा स्थलीं शक्ति योजिली आहे त्यापासून आरंभ करून एकांतरित भुजांचा सतत गुणाकार करून त्या गुणाकाराने शक्ति गुणून तो गुणाकार आणि भारापासून आरंभ करून एकांतरित भुजांचा सतत गुणाकाराने भार गुणून तो गुणाकार हे दोन्हीं गुणाकार समान असतात. हें पुढल्या उदाहरणांवरून स्पष्ट होईल.

तरफांची जी रचना (१६) आकृतींत दाखविली आहे ती पहिल्या जातीची तीन तरफांची आहे. शक्ति (ब) यावर क्रिया करीत असता ती (बे) या



(आ·१६)

वर

शक्तीपासून आरंभून (बज) (बेजे) (बैजै) हे जे एकांतरित भुज आहेत त्यांस (शी शे शै) ह्मणावे. आणि भारापासून (सैजै) (सेजे) (सज) हे जे एकांतरित भुज आहेत त्यांस (भै मे भी) ह्मणवे. आतां (श) ही शक्ति (क्ष) या चेपणाशीं समतोलनांत राहती ह्मणून असें फलित होतें ह्मणजे (श×शी = क्ष×भी). आणि (क्ष) हें चेपण (य) याचेपणाशीं समतोलनांत राहतें ह्मणून असें फलित होतें ह्मणजे (क्ष × शे=य×मे) आणि (य) हें चेपण (भ) या भाराशीं समतोलनांत राहतें ह्मणून असें फलित होतें ह्मणजे (य×शै=भ×भै) आतां (श×शी) (क्ष×शे) (य×शै) हे (क्ष×भी) (य×मे) (भ×भै) यांशीं अनुक्रमानें समान आहेत. यास्तव पहिल्या सर्वांचा गुणाकार दुसऱ्या सर्वांचा गुणाकाराशीं समान होईल असें फलित होतें. ह्मणजे (श×शी×क्ष×शे× य×शै=क्ष×भी×य×मे×भ×भै). या समान गुणाकारांतले सामान्य (क्ष) आणि (य) हे गुणक वगळले असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे (श×शी×शे ×शै= भ×भी×मे×भै). सारांश शक्तीपासून आरंभ करून एकांतरित भुजांचा सतत गुणाकारानें शक्ति गुणून जो गुणाकार होतो तो आणि भारापासून आरंभ करून एकांतरित भुजांचा सतत गुणाकारानें भार गुणून जो गुणाकार होतो तो हे दोन्हीं समान आहेत.

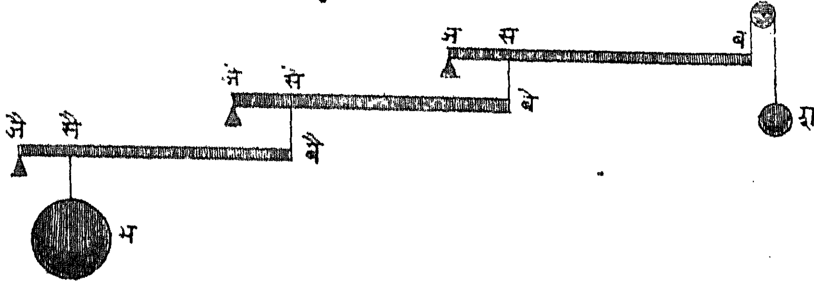
पूर्वोक्त प्रमाणाचें ज्ञान करावयासाठीं बीजगणितरीति माहीत नसली तरींही या फलांची सत्यता वास्तविक परीक्षेवरूनही अनायासानें स्पष्ट होईल.

ती अशी. (शी शे शै) हे जे भुज आहेत ते (४ ६ ८) इंचा आहेत असें

याशीं समान आहे आणि (६४×१×२×३) हा गुणाकारही (२०४) याशीं समान आहे. आणि कोणतीही शक्ति आणि भार जे परस्परांस समतोलनांत धरितात त्या विषयींही हा नियम वास्तविक आहे.

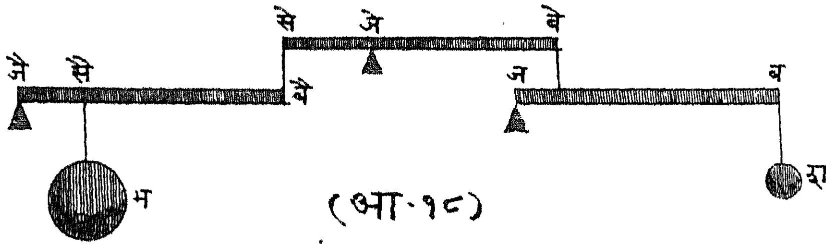
समतोलनाच्या प्रमाणाविषयीं जो पूर्वी नियम केला आहे तो कोणत्याही तरफांचा संघानाच्या रचनेकडे सारिखा लागतो. (१७ आकृति) या आकृ

(आ. १७)



तींत दुसऱ्या जातीच्या तरफांची रचना आहे. शक्ति आणि भार यांपासून आरंभून जे एकांतरित भुज आहेत ते (१६) आकृतीप्रमाणे तसेच अक्षरांनी दाखविले आहेत.

(१८) आकृति. या आकृतींत मिश्रित तरफांची रचना दाखविली आहे ह्मणजे या आकृतींत कांहीं पहिल्या जातीच्या आणि कांहीं दुसऱ्या जा

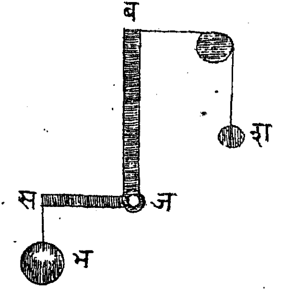


(आ. १८)

तीच्या

ह्मणजे (भी) या लहान्या भुजाशीं योजिला आहे आणि (श) ही शक्ति (जब) ह्मणजे (शी) या मोठ्या भुजाशीं योजिली आहे. एथे समतोलनाचें प्रमाण असें स्पष्ट आहे ह्मणजे (श × शी = भ × भी). हातवड्या सारिखें हातेर खिळा उपटायासाठीं उपयोगांत घेत असतां तें या जातींची तरफ आहे. स्पष्टार्थ (जस) ही त्या हातेरांची फट* आहे आणि (जब) त्याचा दांडा आहे. या प्रकारांत आणि जे इतर सर्व प्रकार पूर्वीं दाखविले त्यांत आंस ह्मणजे आधार तरफेचे गुरुत्वमध्यांत शिरला आहे. यास्तव गजाचा स्वकीय भाराच्या कार्याकडे लक्ष्य ठेविलें नाहीं

(आ. १९)



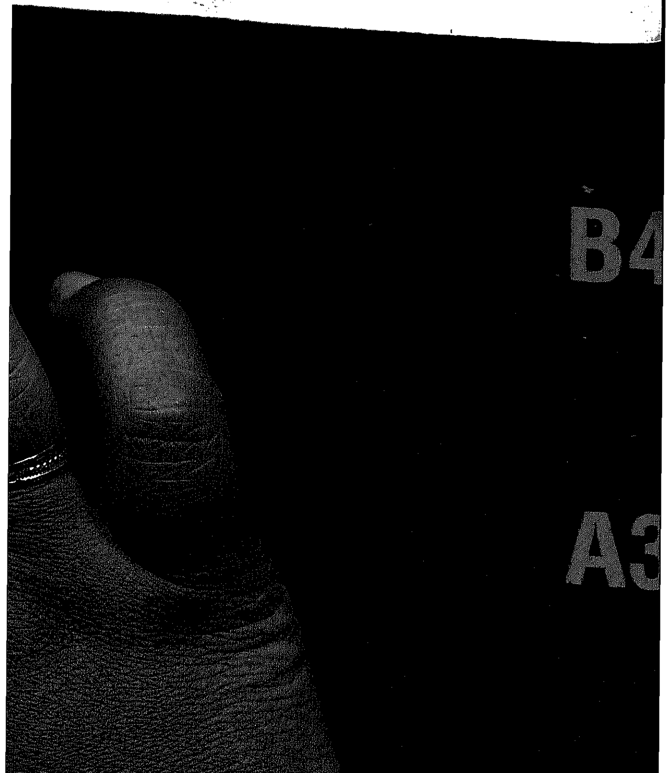
या काटकोनाकार तरफेचें समतोलनाचें प्रमाण इतर प्रकारच्या रीती प्रमाणे परीक्षेने वास्तविक ठरविलें जाईल. तें या प्रकारें. जे भार समतोलन उत्पन्न करितात ते भार तरफेला योजून जा जा भुजांनी भार क्रिया करितात त्या त्या भुजांच्या लांबींनी त्यांस गुणून (श × शी = भ × भी) असें दाखवावें.

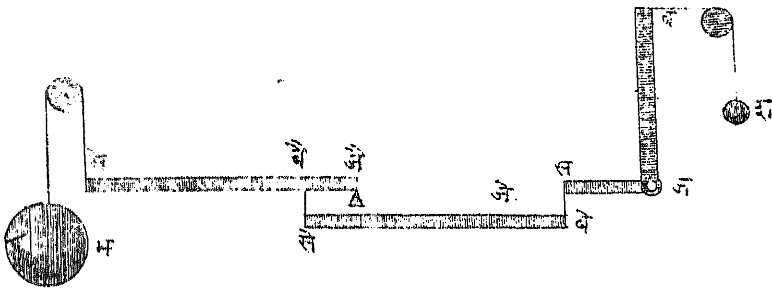
(२८) काटकोनाकार तरफेला तरफांचा संघाताचा एक अवयव करितां येईल असें (२०) आकृतींत दाखविलें आहे. आणि (७) कलमांत जें समतोलनाचें प्रमाण ठरविलें आहे तें या तरफेविषयीं लागतें.

(२९) फळीचें तुलायंत्र हें तरफांचा संघाताने केलें आहे. हें यंत्र कोणत्याही प्रकारांत फार मोठे भार तोलावयाचे असतां उपयोगांत आणितां

* फट ह्मणजे त्या हातेराचा शेवटला उपशयांचा पदार्थ शिरायाजोगी चीर केली असती. असलीं हातेरें प्रसिद्ध आहेत.

येतें

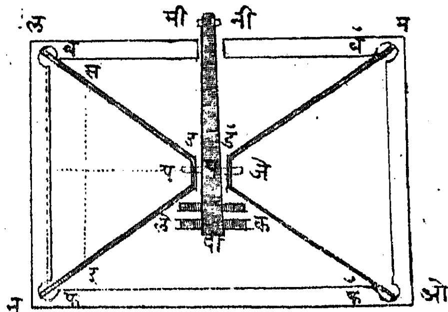




गांत घेत असतात.

एक फुट उंचीची पेटी घेऊन तींत तरफांची रचना अशी समान स्थितींत ठेविली आहे कीं त्या तरफांवर एक मोठी फळी ठेऊन मार्गाचे कडेशीं लावून मार्गाचा पृष्ठाशीं ती फळी समान होई अशी योजावी. नंतर जो गाडा तोलवयाचा आहे तो त्या फळीवर आणावा आणि जी शक्ति तरफांचा संघाताचा योगाने गाड्याला तोलायास समर्थ होती ती शक्ति भाराचे प्रमाणाची सूचक आहे. या प्रकारांत एक लहान शक्ति फार मोठ्या भाराचें प्रमाण दाखविती असा या यंत्रांत लाभ आहे आणि तोलन या यंत्राने सहज त्वरेने होतें.

(आ. २१)



या यंत्रांतल्या तरफांची रचना (२१ आकृतींत) दाखविली आहे. त्या पेटीमध्यें (लेक) ही आडवी आधारखीळ आहे. ती तुलेचा खिळीसारखी आहे. आणि ती खीळ पेटीचे तळावर ज्यांचा वरचा भाग अर्धचंद्राकार आहे असे पोलादि तुकडे स्थिर

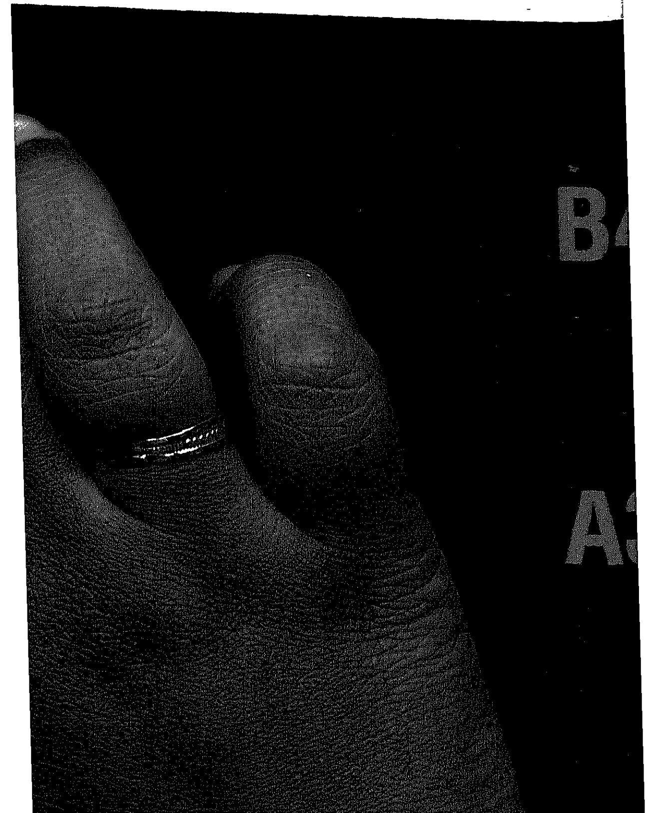
जाडिले

स्थली (एजे) ही खोल शिरविली आहे. तिचे वरचे अंगाला कठिन धार आहे. (ल म न ओ) या पेटीचा चोंहों कोनांत जांचा वरचा पृष्ठावर अर्धगोलाकार आशय आहेत असे कठिन पोलादी लहान घनाकार चार तुकडे स्थिर जोडिले आहेत. (ब स ड इ फ) ही एक बळकट लोखंडी तरफेची वरची बाजू आहे. हिला (ब फ) एथे खालचे पृष्ठावर पोलादाचा गोट्या आहेत. त्या गोट्या पोलादाचा तुकड्याचा त्या आशयांत ठेविल्या आहेत. (ड) याचे नीट खालीं एक कठिण धार आहे. ही धार (एजे) या धारेवर काटकोनाचा आकाराने आडवी रहाती. (स इ) या आगीं जांस अग्रें केलीं आहेत असे पोलादाचे तुकडे अग्रें वर करून जाडिले आहेत. तरफेचा समोरचा दुसऱ्या बाजूवर या जातीची रचना आहे. ती पूर्वींचाच अक्षरांनी चिन्हित करून दाखविली आहे.

आतां जांचीं अग्रें वरचेकडे आहेत असे ते चार तुकडे समान सपाटीवर योजिले आहेत. जा मोठ्या फळीवर तोलायांचा पदार्थ ठेवावयाचा आहे ती फळी या तुकड्यांवर ठेविली आहे.

आतां (पी प) या तरफेचे (मी नी) या शेवटांशीं एक तार किंवा गज जोडिला आहे. तो पेटीचे (ल म ओ न) या पृष्ठावर लंबतेने वर नेऊन जा तरफेचा एका भुजाचा शेवटाशीं वजन ह्मणजे शक्ति योजिली आहे अशा इतर तरफेचा दुसऱ्या शेवटाशीं जोडिला आहे. असें कल्पिलें असतां त्या शक्तीचें प्रमाण ह्मणजे वजन जितका भार फळीवर आहे त्या भाराला दाखवितें. फळीवरचा भाराशीं या वजनाचें प्रमाण किती आहे हें ठरवा-

वयास



(शी शे शै) असे अनुक्रमाने आणावे. (बड,बड, फड,फड,) या चार तरफा परस्पराशीं सर्व प्रकारें समान आहेत. यास्तव जो भार सर्वांवर व्यापून राहिला आहे त्याचें कार्य या सर्वांमधून कोणी एकावर तो राहून जें कार्य उत्पन्न करितो त्याशीं समान आहे यास्तव समतोलनाचें प्रमाण असें आहे ह्मणजे:

(श × शी × शे × शै = भ × भी × भे × भै).

आतां जर (भी) आणि (भे) एक एक फुट असले आणि (शी शे) दाहा दाहा फुटी असले आणि (भै) एक इंच आणि (शै) एक फुट असले तर असें फल प्राप्त होतें ह्मणजे:

$$(श \times १० \times १० \times १ = भ \times १ \times १ \times \frac{१}{१२} \text{ किंवा}$$

$$१०० \, श = \frac{भ}{१२}$$

$$\text{ह्मणजे } १२०० \, श = भ$$

याप्रकारांत वजनापेक्षां भार (१२००) पट अधिक आहे. सारांश एका रत्तलाची शक्ति (१२००) रत्तलांचे भाराला समतोलनांत ठेविती.

नरफांचा यथायुक्त योजनेकरून जो भार मोजावयाचा आहे त्याशीं शक्तीला कोणता नरीं सोईच्या संबंधाने ठेवितां येती ह्मणजे एक औंस इतका भार (११२) रत्तलांशीं समान होतो. जर (भी भे) एक एक फुट असले आणि (शी) (८) (शे) (१६) फुटी (भै) एक इंच आणि (शै) (१४) इंचा असले तर तसें घडेल ह्मणजे ($श \times ८ \times १६ \times \frac{१४}{१२} = भ \times १ \times १ \times \frac{१}{१२}$) ह्मणजे (१७९२) श = भ) असें होईल ह्मणजे वजनापेक्षां (१७९२) पट भार अधिक आहे. परंतु (११२) रत्तलांचे (१७९२) औंस आहेत यास्तव एक औंस (११२) रत्तलांला समतोलनांत ठेवील असें फलित होतें

रणं. जर भार शक्तीपेक्षां दशगुण असला तर शिल्पकर्तृत्व (१०) होईल. आणि जर शक्तिमूल शक्तीचा तिप्पट असली आणि भार मूलभाराचा वीसपट असून त्या शक्तीशीं समतोल असला तर शिल्पकर्तृत्व ($\frac{२०}{३}$) ह्मणजे (६$\frac{२}{३}$) असें होईल: आणि हें मान जर समअपूर्णांक असलें ह्मणजे अंशापेक्षां छेद अधिक असला तर सामान्य प्रकारांत जें शिल्पकर्तृत्व असतें तें शिल्पहानि होतें. स्पष्टार्थ शक्ति भारापेक्षां अधिक असली तर शिल्पकर्तृत्वांत हित होत नाहीं. तरफेवर योजिलेली शक्ति भार आणि आधार यांचा मध्यें असती तेव्हां यंत्र शिल्पहानित्वानें क्रिया करितें असें पूर्वीं पाहिलें आहे.

(३१) आधारापासून शक्ति आणि भार यांच्या जा स्थिति आहेत त्या स्थिति बदलल्या असतां याच तरफेपासून विवक्षित शिल्पकर्तृत्व प्राप्त होतें ह्मणजे त्या तरफेला कोणत्याही सांगितलेल्या शिल्पकर्तृत्वानें किंवा कोणत्याही शिल्पहानित्वानें क्रिया करितां येती. हा एक तरफेच्या गुण आहे. या गुणेकरून बहुतएकां केवल यंत्रांपेक्षां हें यंत्र विशेषित होतें. आणि या गुणाचा योगेंकरून हें यंत्र इतर सर्व यंत्रें दाखवावयासाठीं एक सोईचें प्रमाण आहे. कोणत्याही यंत्रांत शक्ति आणि भार यांचें प्रमाण कसेंही असलें तथापि जा तरफेच्या ठायीं शक्ति आणि भार यांचें प्रमाण तसेंच असतें तशी तरफ दाखवितां येती यास्तव हिला प्रतिनिधि तरफ ह्मणतात.

सर्व केवल यंत्रें केवल प्रतिनिधि तरफांनी जशीं दाखवितां येतात तसे सर्व यंत्र समूह प्रतिनिधि समुदित तरफांच्या रचनांनी दाखवितां येतील. हें सिद्ध करायासाठीं जा यंत्रसमूहाच्या विचार चालिला आहे

त्या

षभुजाशीं अनुक्रमानें तरफांचें प्रमाण ठेवितील अशीं तरफा क्रमानें घेऊ-
न यांची रचना करावी. अशी रचना यंत्रसमूहाशीं शिल्पत्वानें तुल्य आहे.

यंत्रसमूहाचीं जीं अवयवयंत्रें आहेत त्यांमध्यें भाराशीं जीं शक्तीचीं प्रमाणें आहेत त्यांचा ज्ञानेंकरून कोणत्याही यंत्रसमूहामध्यें भाराशीं शक्तीचे प्रमाण कोणतें आहे तें अनायासानें ज्ञात होईल. असें पूर्वोक्त विचार आणि (२६) कलमांतलें अनुमान यांवरून फलित होतें. तात्पर्य. जर हीं प्रमाणें (भीः शी) (भेः शे) आणि (भैः शै) अशीं आहेत तर यंत्रसमूहांत भार आणि शक्ति यांचें प्रमाण (श × शी × शे × शै = भ × भी × भे × भै) याणें ठरविलें जाईल.

तरफ किंवा तरफांची रचना शिल्पत्वानें कोणीएका यंत्राशीं तुल्य आहे ती प्राप्त होती असें सांगीतलें. यावरून इतकें समजावें कीं यंत्राचेठायीं जा भाराला जी शक्ति उचलिती तितकीच शक्ति तितक्याच भाराला तरफेचेठायीं ही उचलिती निर्निराळ्या जातीचा यंत्राचे सर्व शिल्पिव्यापार तरफांचे रचनेनेंच केवल होतात असें आणूं नये.

भाग ५

तुलेविषयीं

या भागांत समान भुजांची सामान्य तुला.—तिचा क्रियाकलाप.—तिची सूक्ष्मता.—कृत्रिम तुलेचें कापट्य समजायाची रीति.—तूळ.—डेन्स् लोकांची तुला.—वांकड्या तरफेची तुला.—ब्रेडी साहेबाची तुला.— यांचें निरूपण केलें आहे.

(३२) जा पदार्थांचा भार ज्ञात आहे ह्मणजे जे स्वतः भाराचें साधा-

भाव व मोठेपणा जसा असेल आणि जें फल उत्पन्न व्हावयाचें त्याची शुद्धता जशी विवक्षित असेल त्या प्रमाणे तरफेला नानाप्रकारचीं रूपांतरें देतात.

जिचे दोन्हीं भुज समान आहेत अशी पहिल्या जातीची तरफ तुलेचें सामान्य रूप आहे यास्तव जो पदार्थ तोलावयाचा आहे तो एका भुजाशीं योजून दुसऱ्या भुजाशीं वजन योजावें. नंतर तो पदार्थ आणि वजन हीं दोन्हीं समान ह्मणजे एका प्रमाणाचीं झालीं असतां समतोलन अगत्य प्राप्त होईल. असें (१४) कलमांत स्पष्ट आहे.

हें सामान्य तुलेचें साधारण मूलकारण मात्र आहे तूलेचा निर्माण प्रकारांमध्यें नानाविध युक्ति आहेत आणि त्या फार उपयोगाच्या आहेत. त्यांकडे लक्ष्य राखावें.

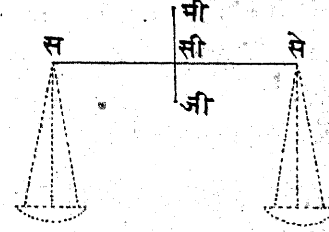
(२३) जी तरफ तुलेला दाखविती तिला दांडी ह्मणतात. तिचा गुरुत्वमध्य तुलेचा खिळीचे ह्मणजे गतिकेंद्राचे नीट खालीं होई अशी ती दांडी केली पाहिजे. कारण दांडी समान स्थितींत असतानाच पदार्थाचाभाराची समता ठरवित असतात. गुरुत्वमध्य स्वतः गतिकेंद्रांत असला तर दांडी जा स्थितींत ठेवावी त्या स्थितींत स्थिर राहील यास्तव ती तोलायाचाउपयोगाची नाहीं. जर तो गुरुत्वमध्य गतिकेंद्राचावर असला तर यत्किंचित धक्का लागल्याने दांडी उलटेल. हें (१) निबंधांत (४) भागांत स्पष्ट आहे.

तुलेची दांडी गुरुत्वमध्य गतिकेंद्राचा खालीं येई अशी केली असतां जी रेषा गुरुत्वमध्याला गतिकेंद्राशीं संबद्ध करिती ती रेषा दांडीवर भार नसतां ऊर्ध्वाधर दिशेंत सर्वदा स्थिरावेल.

द्ध झाली आहे ती रेषा जी त्या अग्रबिंदूला संबद्ध झाली आहे तिवर लंब होई आणि त्या अग्रबिंदूंचा रेषेचे दोन समान भाग होत अशा प्रकारें ते बिंदु ठेवावे. जसें (२२) आकृतींत दाखविलें आहे.

(२२) आकृति. या आकृतींत (स) आणि (से) हे टांगावयाचे बिंदु आहेत आणि (मी) गतिकेंद्र (जी) दांडीचा गुरुत्व मध्य आहे. असें असतां (स से) आणि (मी जी) या रेषा परस्परांस (सी) एथे काटकोन रूपाने छेदून (स सी) आणि (सी से) या दोन्ही समान झाल्या पाहिजेत.

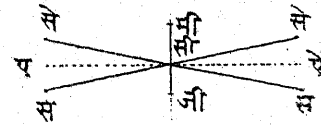
(आ. २२)



या प्रकारें ही दांडी केली असतां पहिल्या निबंधांत गुरुत्वमध्याचा ज्या गुणाचें वर्णन केलें आहे त्याचा अनुरोधाने (जी) हा बिंदु (मी) याचे खालीं (मी जी) ही रेषा समान सपाटीवर लंब होई असा लंबतेने स्थिरावेल. (स से) ही रेषा (जी मी) हिवर लंब आहे ह्मणून या प्रकारांत समान आहे.

(३९) तुला उपयोगांत घेत असतां (२३) आकृतींत दाखविलेल्या प्रमाणे (मीजी) या रेषेची दिशा दाखवावयासाठीं त्या दांडीला एक कांटा ह्मणजे सूचक जोडिला आहे. त्या कांट्याचा वरचा अग्राचा वरती किंचित् अंतराने अर्धचंद्राकार एक चिन्हित पट्टी प्रमाण सुचवावयासाठीं कधीं दांडीला योजीत असतात. जी रेषा

(आ. २३)



लंब

नि आहे असें लवकर दिसूं येईल.

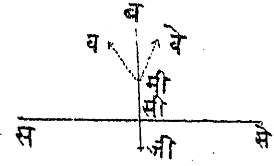
(३६) या दांडीविषयीं जे सर्व प्रकार आहेत त्यांचा अनुभव पहावयास अवघड नाहीं. कोणत्याही प्रकारांत दांडी स्थिर असतां (मीजी) ही रेषा लंब होईल. (ससे) ही रेषा समान आहे ह्मणजे (मीजी) हिवर लंब आहे किंवा नाहीं हें पाहावयास ऊर्ध्वाधर सपाटीशीं दांडीला संलग्न टांगून ज्या स्थितीवर (ससे) हे बिंदु स्थिर आहेत त्यांस सपाटीवर चिन्हित कराव्यानंतर ती दांडी केंद्रापासून घेऊन उलटी ठेविली असतां जर (स) याला (से) याचें स्थान आणि (से) याला (स) याचें स्थान प्राप्त झालें तर (ससे) ही रेषा समान असून (मीजी) हिवर लंब राहील अन्यथा लंब राहणार नाहीं. हें अधिक स्पष्ट करावयासाठीं पहिल्याने (स से) ही रेषा (मी जी) या रेषवर लंब नाहीं (से सी ऐ) या कोनाच्या अंतरानें (ऐसी) या लंबापासून एकीकडे आहे असें कल्पावें. आतां ज्या सपाटीशीं दांडी संलग्न ठेविली आहे तिवर (ससे) यांचा स्थिति चिन्हित करून दांडीला उलटी करावी. तशी केली असतां आकृतीचा डाव्या बाजूवर जी स्थिति (सी से) ही रेषा दाखविती तिला ती दांडी घेईल. या स्थितींत (सी से) हा भुज उजव्या बाजूवर (ऐ सी) या समान रेषेचे जितका पूर्वीं वर होता तितकाच (एसी) हिचेवर या बाजूवर आतां आहे. परंतु हें अंतर (सी स) हा भुज जितका पूर्वीं (एसी) हिचे खालीं असताना होतें तितकेंच आतां आहे यास्तव दांडी फिरवावयाचे पूर्वीं आणि नंतर (एसी) याचे वरची आणि खालची या (स) आणि (से) यांचा स्थिति चि-

न्हित

हे ठरवावयाविषयीं काहीं ... [illegible]

कृतींत दाखविली आहे. या आकृतींत पूर्वोक्त प्रकार-
चा नियमाप्रमाणे यंत्र सुधारिलें आहे. आणि (ससे)
ही रेषा (जी मी) या रेषेवर लंब आहे परंतु अद्यापि
(जी मी) याचे दिशेपासून (ब मी व) या कोनाच्या अंत-
राने (मीव) हा कांटा राहतो असें कल्पावें. आतां कां-
हीं असें अंतर आहे कीं नाहीं हें अनुभवावरून पाहावयाचें आहे आ-
णि जर असलें तर याचें परिमाण काय तें सांगावें.

(आ·२४)



पूर्वोक्ताप्रमाणे ऊर्ध्वाधर सपाटीशीं दांडी संलग्न टांगून (व) या बिंदूची स्थिति चिन्हित केली आहे असें कल्पावें नंतर दांडीला उलटी फिरविली असतां कांटा (मी वे) ही स्थिति धरील ह्मणजे पूर्वीं जितक्या अंतराने (मी व) या वास्तविक दिशेपासून डाव्या बाजूवर राहिला होता तितक्याच अंतराने आतां उजव्या बाजूवर राहील. (वे) हा बिंदु चिन्हित केला असतां (वे मी व) हा कोन कांटा जितक्या अंतराने आपल्या वास्तविक स्थितीपासून होता त्या अंतराचे दुप्पट होईल.

जी सामान्य व्यापाराची तुला आहे ती बहुत करून धातूच्या गवाक्षाकार कडीने आधारिली आहे. त्या कडीवर सुरीसारिख्या धारेने दांडी रहाती. या प्रकारांत दांडी भाररहित असतां गवाक्षाचा बाजूंचे मध्ये कांटा नीट स्थिर राहिला पाहिजे आणि (स से) यांशीं समान भार योजिले असतां अशाच स्थितींत कांटा सर्वदां राहिला पाहिजे.

(३८) सुधारण्याचे जे अनेक नियम आतां सांगितले ते यथास्थि

आणि तीं (स सी) आणि (से सी) हींच
आहेत. यास्तव हीं अंतरें आपआपल्या समान भारांनी गुणिलीं असतां समान गुणाकार उत्पन्न होतील. यास्तव (मी) या गतिकेंद्राच्या समोरासमोरचे दिशेंत यंत्राला फिरवावयास त्या दोहों भारांला समान प्रेरणा आहेत. यास्तव ते भार परस्परांचा कार्यांला प्रतिहत करितात आणि तें यंत्र आपल्या पूर्वींचा भाररहित स्थितींत रहातें.

आतां विषम भार (स) आणि (से) यांशीं योजिले असतां फल काय होईल? असा विचार करावयाचा असतां (स) याशीं (भ) हा भार योजावा. आणि (से) याशीं (भे) हा भार योजावा परंतु (भ) हा भार दुसऱ्यापेक्षां अधिक असूं द्यावा. आणि (स सी) (से सी) अशा भुजांच्या ज्या समान लांबी आहेत त्यांस (अ) ह्मणाव्या.

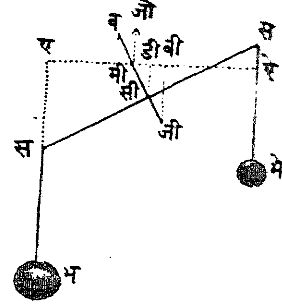
(ससी) या भुजाला नमवायासाठीं (भ) या भाराचा जो यत्न आहे तो हाच भार आणि (स सी) या भुजाची (अ) ही लांबी यांचा गुणाकाराने मोजिला आहे ह्मणजे (भ×अ). आणि याचा निरोध करणारा जो (भे) यांचा यत्न आहे तो (भे) हा भार आणि (सेसी) या भुजाची लांबी यांचा गुणाकार आहे ह्मणजे (भे×अ). आतां (भ) हा भार (भे) याहून अधिक आहे यास्तव (भ) आणि (अ) यांचा गुणाकार (भे) आणि (अ) यांचा गुणाकाराहून अधिक आहे. यास्तव (स सी) या भुजाला नमवावयास (भ) याच्या यत्न प्रतिरोधक जो (भे) याचा यत्न आहे त्यापेक्षां अधिक आहे यास्तव (ससी) हा भुज खालीं येईल आणि (से सी) वर आईल.

तुला चांगली करून जे सुधारण्याचे अनेक नियम सुचविले आहेत

चा दिशेकडे नमूल असें स्पष्ट आहे.

तुलेची सूक्ष्मता (मी ओ) या कांट्याची जी भाररहित स्थिति आहे तिपासून भारांचा जशा जशा लहानशा अंतराने तो कांटा नेला जातो त्या अंतराच्या लहानपणा आणि भाराच्या अशाच अंतराने उत्पन्न झालेला भाररहित स्थितिपासून (व मी ओ) असा जो कोन असतो त्याच्या मोठेपणा या दोहोंनी ती सूक्ष्मता मोजिली जाती. याचें वर्णन अधिक स्पष्ट करावयासाठीं (भ) हा भार (भे) याहून अधिक झाल्यामुळें जी समतोलनाची स्थिति प्राप्त होती ती (२५) आकृतींत दाखविली आहे अशा स्थितींत ती दांडी स्थिर आहे असें कल्पावें. आणि दांडीचा सर्व भार (ज) आहे. (मी) यांमधून भारांचा दिशांवर (ए मी ऐ) ही रेषा लंब आहे यास्तव ती समान आहे. (सी) यामधून (एऐ) यांवर (सीडी) ही लंब आहे यास्तव ती (स ए) आणि (से ऐ) यांशीं समांतर आहे आणि या रेषांशीं समांतर (जी बी) ही रेषा काढावी. हें यंत्र (मी) या केंद्रावर तीन भारांनी समतोलनांत ठेविलें आहे ह्मणजे जो (भ) हा भार (ए स) या दिशेंत आहे तो पहिला आणि जो (भे) हा भार (ऐसे) या दिशेंत आहे तो दुसरा आणि जो (ज) हा भार (बी जी) या दिशेंत दांडीचे गुरुत्वमध्यावर क्रिया करितो तो तिसरा अशा तीन भारांनी ठेविलें आहे. गुरुत्वमध्याविषयीं पहिल्या निबंधाचा चवथ्या भागांत पहावें. (भ) हा भार यंत्राला एका दिशेकडे फिरवावयास प्रेरक आहे आणि (ज) आणि (भे) हे भार त्याला दुसऱ्या दिशेकडे फिरवावयास प्रेरक आहेत. परंतु या

(आ·२५)



प्रेरणा

या दोहों गुणाकारांची बेरीजशीं ह्मणजे (भ × ए मी + ज × बी मी) याशीं समान आहे.

(स से) या रेषेचा मधला बिंदु (सी) आहे आणि (स ए) (सीडी) (से ऐ) या रेषा परस्परांशीं समांतर आहेत यास्तव (ए ऐ) या रेषेचा मधला बिंदु अगत्य (डी) आहे यास्तव (ए मी) ही (ऐ मी) हिपेक्षां लहान आहे. यास्तव दांडीचा सांप्रत स्थितींत (भ) हा भार (भे) यापेक्षां लहान्या तरफपण्याने क्रिया करितो. आणि जसा जसा (भ) हा भार दांडीला खालीं नमवितो तसा तसा त्याचा तरफपणा सतत कमी होतो आणि (भे) याचा तरफपणा सतत अधिक होतो असें या आकृतीवरून स्पष्ट आहे. अणखीही (ज) या दांडीचा जा भाराला भाररहित स्थितींत कांहीं तरफपणा नव्हता त्या भाराचा तरफपणा जसा जसा (भ) हा भार (स) याला खालीं नमवितो तसा तसा तो आतां अधिक होतो आणि (भ) या मोठ्या भाराचा बलानें (स) याचें जें नमणे आहे त्याला (भे) याशीं मिळून (ज) हा भार प्रतिरोध करितो. बलांची अवस्था अशी आहे ह्मणून तीं बलें दांडी आपल्या भाररहित स्थितीपासून सुटल्यानंतर समतोलनांत येतात. आणि भाराचें अंतर तसेंच तितकेंच राहिलें असतां जा समयीं दांडी समतोलनांत येती त्या समयीं दांडीचा भाररहित स्थितीपासून जसें जसें तिचें अंतर मोठें होतें तशी तशी दांडीची सूक्ष्मता मोठी होती. (भ) या मोठ्या भाराचा योगानें दांडीचें आपल्या भाररहित स्थितीपासून जें नमणे आहे त्याचा प्रतिरोधाचीं जीं कारणें आहेत त्यांस कमी केल्याने सूक्ष्मता वाढती हें स्पष्ट आहे. दांडीचा जो (ज) हा भार (बी मी) या तरफपण्याने क्रिया करितो तो यांत

ले

ती वाढती [illegible]

हीतरफ कमी होती हें स्पष्ट आहे.

जें दुसरें कारण (भ) यांचा कार्याचा प्रतिरोध करितें तें संबंधाने (भे) याच्या वाढविलेला तरफपणा आहे. हें कारण (मीडी) किंवा (सीमी) यां लांबी कमी केल्याने ह्मणजे जी सरलरेषा (ससे) यायंगायाचा बिंदूला संबद्ध आहे ती गतिकेंद्रापासून जितक्या लंबांतराने दूर आहे तें अंतर कमी केल्याने तें कारण कमी होतें.

(४०) शिक्षामालेच्या सामान्य परिभाषेची उपस्थिति अल्प असली तर आबालवृद्धांस समजायाजोगें जें पूर्वी वर्णन केलें आहे त्यापेक्षां जीं प्रकरणें तुलेचे सूक्ष्मतेला नियमित असतात त्यांचें वक्ष्यमाण प्रकारे वर्णन केल्याने समाधान विशेष होईल. आणि ती परिभाषा सर्वथा ज्ञात नसली तर त्याणी हें कलम सोडून पुढें पहावें.

कांटा आपल्या ऊर्ध्वाधर स्थितीपासून नमून (ओ) (ओमीव) हा कोन झाला आहे त्याला (द) ह्मणावा. आणि (जी मी) या रेषेला (ड) ह्मणावी. (सीमी) या रेषेला (ब) ह्मणावी आणि (ससी) किंवा (सेसी) या रेषेला (अ) ह्मणावी. आणि अनेक समांतररेषा एकाच रेषेवर असतां कोन समांन करितात* यास्तव (मी सीडी) आणि (मीजीबी) हे प्रत्येक कोन (द) याशीं समान आहेत आणि (डी) (बी) हे कोन काटकोन आहेत यास्तव असें प्राप्त होतें ह्मणजे (डीमी) = ब × द (भु० ज्या) + आणि (बी मी) = ड × द (भु० ज्या). आणि (ससे) (ए ऐ)

---

* जार्वीससाहेबाचे आदिकारण भुमितीचे सिद्धांतांत पहावें.

\+ (भुज्या) ह्मणजे भुजज्या जो अर्धव्यास धनुष्याचा एका अग्राला स्पृष्ट झाला आहे त्या अर्धव्यासावर जी धनुष्याचा दुसऱ्या अग्रापासून लंबरेषा गेली असती तिला त्या कोनाचा अंशाची भुजज्या ह्मणतात.

(एऐ=२अ×द (को भु॰ज्या) असें आहे यास्तव (एडी=अ×द (को भु॰ज्या) असें होतें. परंतु (एमी= एडी−मीडी)=अ×द (को भु॰ज्या−ब×द (भु॰ज्या) आणि (ऐमी=एडी+मीडी=अ×द (को भु॰ज्या)+(ब×द (भु॰ज्या) असें आहे.

आतां (भ) या भाराचे दोन भाग केले आहेत असें कल्पावें. त्यांतला एक भाग (भे) याशीं समान आहे यास्त (इ) हा दुसरा भाग (भ) आणि (भे) यांचें अंतर होईल आणि (भ) याचा जो भाग (भे) याशीं समान आहे आणि (भे) हा पूर्वीचा भार या दोहोंचें एकवटलेलें कार्य दांडीचा (सी) या मधल्या बिंदूवर (मीडी) या तरफपणाने (२भे) असा भार क्रिया करीत असतां जें कार्य उत्पन्न होतें त्यांशीं समान आहे. यास्तव समतोलनाचें प्रमाण वक्ष्यमाण प्रकारें होईल.

म्हणजे इ×एमी='२भे×मीडी+ज×मीबी) किंवा

इ×(अ×द (को भु॰ज्या)−ब×द (भु॰ज्या)=

२भे×ब×द (भु॰ज्या)+ज×ड×द (भु॰ज्या)

असें असतां या केवळ समीकरणाला द (को भु॰ज्या) याणें भागून $\frac{\text{द (भु॰ज्या)}}{\text{द(को भु॰ज्या)}}$ = द (स्पर्शरेघ) असें मानिलें असतां असें प्राप्त होतें म्हणजे इ×(अ−ब×द (स्पर्शरेघ)=२भे×ब×द (स्पर्शरेघ)+ज×ड×द (स्पर्शरेघ) यांपासून असें फलित होतें म्हणजे

द (स्पर्शरेघ)×$\overline{\text{इ+२भे×ब+जड}}$=इ×अ म्हणून

$\frac{\text{द (स्पर्शरेघ)}}{\text{इ}} = \frac{\text{अ}}{\text{जडी} + \overline{\text{२भे+इ×ब}}}$

या समीकरणाची पहिली बाजू सूक्ष्मतेचें प्रमाण दाखविती.

---

* को भु॰ज्या भुजज्याने झालेला कोन कोटकोनापासून वजा केला असतां जो शेष कोन राहतो त्या कोनाची जी भुजज्या आहे ती या कोनाची कोभुजज्या जाणावी.

(४१) पूर्वोक्त विचाराचे फलावरून वक्ष्यमाण प्रकारचा सिद्धांत करावयास अभ्यास करणारास कांहीं कठिन पडणार नाहीं.

(पहिलें) इतर सर्व क्रियाकलाप तसेच ठेवून तुलेचा भुजांचा लांबी वाढविल्याने तिची सूक्ष्मता वाढती.

(दुसरें) इतर सर्व क्रियाकलाप तसेच ठेऊन दांडीचा स्वकीय भार कमी केल्याने ती सूक्ष्मता वाढती.

(तिसरें) गुरुत्वमध्य आणि गतिकेंद्र यांचें अंतर कमी केल्याने सूक्षता वाढती.

(चवथें) जी रेषा टांगावयाचे बिंदूंशीं संबद्ध आहे तिचें गतिकेंद्रापासून जें अंतर आहे तें कमी केल्याने सूक्ष्मता वाढती.

(पांचवें) जसे भार लहान असतील तशी सूक्ष्मता मोठी असती.

यद्यपि यापासून अनेक इतर चांगलीं फलें प्राप्त होतील तथापि या प्रकरणाचा विचार एथे पुढें चालणार नाहीं. टांगावयाचा बिंदूस जी रेषा संबद्ध आहे ती गतिकेंद्राचे खालीं आहे असें कल्पिलें होतें परंतु सर्वदां असें करीत नाहींत. जा समयीं ती रेषा त्या केंद्राचा वरती असती त्या समयीं जें प्रमाण सूक्ष्मतेविषयीं प्राप्त झालें आहे तें असें आहे ह्मणजे $\frac{(\text{द})\ \text{स्पर्शरेघ}}{\text{इ}} = \frac{\text{अ}}{\text{अड} - (\text{२भे} + \text{इ}) \times \text{ब}}$ असें आहे.

सूक्ष्मतेवर जीं पूर्वोक्त रूपांतराचीं कार्यें असतात त्यांचा ज्ञानाविषयींचा विचार शिक्षामालेचा अभ्यास करणारांनी करावा.

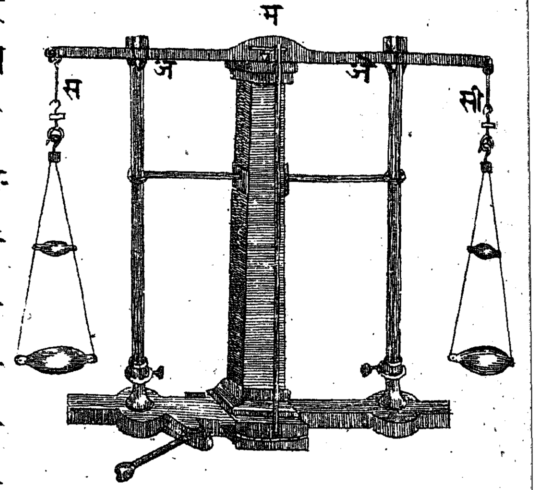
(४२) विद्येचा उपयोगाविषयीं फार मोठ्या सूक्ष्मतेची तुला निर्माण करीत असतां तिचा निर्मितींत अनेक सूक्ष्म विशेष आहेत त्यांकडे लक्ष्य राखिलें पाहिजे आणि जा तुला सामान्य व्यापाराचा कामांत उपयुक्त असतात

त्याचा

त्याचा निर्मितींत नसल्या विशेषांवर दृष्टी ठेवायाचें प्रयोजन नाहीं.

(२६) आकृति. या आकृतींत एक फार मोठ्या सूक्ष्मतेची तुला ह्मणजे विद्येचा कामांत उपयुक्त पडायाजोगी दाखविली आहे. हिचा योगाने भारांचें अतिसूक्ष्म अंतर कळूं येतें. या तुलेच्या (ससी) या दांडीचे भुज समान लांबीचे आणि समान रूपाचे आहेत. ही दांडी शुद्धतेने आपल्या धारांनी (म) एथे ठेविली आहे. या दांडीचा धारा चांगले घांसून स्वच्छ केलेले आणि कठिन अशा पोलादी पत्र्यांवर ठेवीत असतात परंतु कामाचे वेळेस मात्र दांडीला त्या पत्र्यांवर ठेवीत असतात. आणि दांडीचा भुजाचा (जजे) या स्थलीं खालीं बेचांगल्याचे दोन खांब आहेत. आणि त्या खांबाचे पायांला मळसूत्रें आहेत. तीं फिरवून खांब उचलिले असतां ते भुज उचलून त्या पत्र्यांपासून दांडी उचलीत असतात. यास्तव पत्र्यांवर त्या धारांचा सतत चेपणामुळें जी झीज व्हावयाची ती चुकती. (म) या केंद्राशीं एक कांटा ह्मणजे सूचक जोडिला आहे. हा कांटा एका खालचा चिन्हित धनुष्यावर भारांचें अंतर सुचवितो. आणि जेव्हां चांगलें समतोलन असतें तेव्हां तो सूचक त्या धनुष्याचा (०) या चिन्हावर असतो. अशा जातीची तुला सामान्यतः कांचेचें झांकण तिचवर घालून ठेविली असती आणि वजन किंवा इतर तोलावयाचे पदार्थ परड्यांत घालावयास जितकें तें झांकण उचलावयास पाहिजे तितकेंच उचलीत असतात.

(आ. २६)



(४३) व्यापारी लोक ठकवावयासाठीं तुलेचा ज्या भुजाशीं तोलावयाचा पदार्थ योजावयाचा आहे तो भुज ज्या भुजाशीं समतोल पदार्थ ह्मणजे वजन

जन योजावयाचें आहे त्या भुजापेक्षां लांब करीत असतात. अशा प्रकारें तुळेला खोटी करितात ह्मणजे तोलावयाचा पदार्थाला अधिक तरफपणा देऊन आपल्याहून प्रमाणाने मोठ्या वजनाला उचलावयास समर्थ करितात. या प्रकारच्या तुळेच्या उद्देश ह्मणजे ठकविणे अनेकाप्रकारें चुकवितां येईल. जेव्हां अशा तुळेचा खोटेपणा मात्र जाणवायाचा असला तेव्हां जो पदार्थ तोलावयाचा आहे तो पदार्थ आणि वजन यांचा प्रमाणानुरूप समतोलन झाल्यानंतर त्यांस बदलावें ह्मणजे जा परड्यांत वजन घातलें आहे त्या परड्यांत तोलावयाचा पदार्थ घालावा आणि जा परड्यांत तोलावयाचा पदार्थ घातला आहे त्या परड्यांत वजन घालावें इतकें मात्र केलें पाहिजे. जर तुला चांगली सुयंत्र असली तर समतोलनांत भेद पडणार नाहीं परंतु तींत जर कांहीं खोटेपणा असला तर अशी बदली केल्यानंतर वजनाला मोठा तरफपणा प्राप्त होतो ह्मणून तें खालती नमलें जाईल. आणि केवळ खोटेपणाच कळावयाचा नसला ह्मणजे पदार्थाचा खराभारही आणावयाचा असला तर बदली केल्यानंतर जें वजन समतोलन उत्पन्न करितें तें वजन ध्यानांत ठेवावें. नंतर हें वजन आणि बदली करावयाचे पूर्वीचें वजन यांस एका जातीचीं करून परस्परांस गुणून त्याचें वर्गमूल काढावें. तें मूल पदार्थाचा वास्तविक भार होईल. उदाहरण. एक वजन (७) रत्तल आणि दुसरें (९ $\frac{१}{७}$) रत्तलांचें आहे यांचा गुणाकार (७×९ $\frac{१}{७}$ = ६४) आहे यांचें वर्गमूल (८) आहे यास्तव खरा भार (८) रत्तलांचा आहे.

याचा पडताळा पहावयासाठीं (अब) हे भुज आणि (आ बा) हीं वजनें आणि पदार्थाचा खरा भार (क्ष) आहे असें कल्पिलें असतां

क्षः आः: अः ब
बाः क्षः: अः ब

असें प्राप्त होतें यापासून

(क्षः आ:: बाः क्ष)

किंवा ($क्ष^2$=आ×बा) ह्मणजे क्ष= $\sqrt{आ \times बा}$ असा सिद्धांत करितो.

खरा भार पाहिल्यावांचून किंवा तुलेचा खोटेपणा सांपडल्यावांचूनही अन्य रीतीने विक्रय करणारांचा खोटेपणा चुकवून त्यास ठकवितां येईल.

जो पदार्थ विकत घ्यावयाचा आहे तो तुलेचा निर्निराळ्या दोहों परड्यांत निमोनिम जोखून घ्यावा. त्याचें फल असें होईल ह्मणजे जशीजशी तुला अधिक वाईट असेल तसें तसें विकत घेणारास खऱ्या परिमाणाहून सर्वदां कांहीं अधिक पदार्थ मिळेल. उदाहरण (१२) यांस (११) अशा प्रमाणांत तुलेचे भुज आहेत आणि कोणीएक पदार्थ दोन रत्तल घ्यावयाचा असतां प्रत्येका परड्यांत एका एका रत्तलाचें वजन घालून निर्निराळा तोलून घ्यावा. असें केलें असतां विकत घेणाराला एका परड्यांत रत्तलाचे ($\frac{११}{१२}$) अकरा द्वादशांश आणि दुसऱ्या परड्यांत ($\frac{१२}{११}$) बारा एकादशांश असें प्राप्त होईल ह्मणजे त्या मनुष्याला एका परिमाणांत एका रत्तलाहून ($\frac{१}{१२}$) कमी आणि दुसऱ्यांत एका रत्तलाहून ($\frac{१}{११}$) अधिक प्राप्त होईल. आतां ($\frac{१}{११}$) एकादशांश ($\frac{१}{१२}$) द्वादशांशापेक्षां अधिक आहे यास्तव एकादशांश आणि द्वादशांश यांचें अंतराने वास्तविक परिमाणाहून विकत घेणाराला तो पदार्थ अधिक मिळेल ह्मणजे रतलाच्या ($\frac{१}{१३२}$) अंश अधिक मिळेल.

सामान्यतः (अ) आणि (ब) हे भुज (भ) हें वजन आणि (क्ष) आणि (य) हीं दोन नावाचीं समान परिमाणें आहेत असें मानावें.

(क्ष : भ : : अ : ब : यापासून ($क्ष = भ \times \frac{अ}{ब}$)

(य : भ : : ब : अ : यापासून ($य = भ \times \frac{ब}{अ}$)

($क्ष + य = भ \times (\frac{अ}{ब} + \frac{ब}{अ})$) असें प्राप्त होतें.

आतां कोणीएक अंक आणि त्याचा व्यस्तांक * यांची बेरीज सर्वदां

---

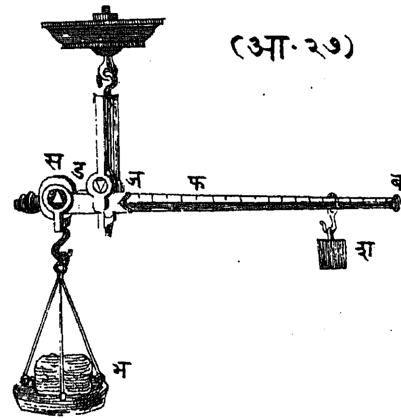
* व्यस्तांक ह्मणजे अंश छेदांस परस्पराचें स्थान प्राप्त झालें असतां ते परस्पर व्यस्तांक

(२) यांहून अधिक आहे यास्तव (क्ष+य) (२भ) याहून अधिक आहे.

खोटी तुला अथवा कोणी एक साधारण तुला यांणी पदार्थाचा खरा भार आणावयासाठीं सर्वांहून जी चांगली रीति आहे ती अशी. पदार्थाला एका परड्यांत घालून दुसऱ्या परड्यांत वाळू घालून नीट समतोल ओरवावा. नंतर जो पदार्थ तोलावयाचा आहे तो काढून जाशीं त्या पदार्थाचें उन्मान करावयाचें आहे तें भारप्रमाण ह्मणजे वजन त्याचे जागीं ठेवावें आणि त्याणे तीवाळू समतोलनांत आणिली असतां यंत्राचा सर्व खोटेपणा चुकवून खरा भार ज्ञात होईल.

(४४) समान भुजांचा साधारण तुलेवांचून पदार्थाचे भार आणावयासाठीं तरफेचीं इतर रूपांतरें अनेक आहेत. त्यांमधून मोठाले भार आणावयाचा एक प्रकार आहे जाला फळीचें तुलायंत्र ह्मणतात. त्यांचें वर्णन पूर्वींच केलें आहे. आणि ज्यांचें वर्णन करावयाचें आहे तीं लहान भार आणावयास चांगलीं आहेत.

रोमन् लोकांची तुला ह्मणजे तूळ हें यंत्र (२७) आकृतींत दाखविलें आहे. तें यंत्र एक दांडी किंवा लोखंडी गज आहे. तो खिळेचा धारांनी किंवा खिळीने आधारिलेला राहतो आणि याचा एक भुज दुसऱ्याहून फारलांब आहे. जेव्हां हें यंत्र भाररहित असतें तेव्हां त्याचा लहान भुज मोठ्या भुजाला समतोलनांत ठेवीत असतो असा तो गज जड केला आहे आणि अशा अवस्थेंत ती दांडी समतोलनांत आहे असें पूर्वीं कल्पावें. लहान्या भुजाला एक आंकडा लाविला आहे त्याशीं तोलावयाचा



आणावे. उदाहरण २/३ याच्या व्यस्तांक ३/२ आणि ३/२ याच्या व्यस्तांक २/३ तसें ४/१ याचा व्यस्तांक १/४ इत्यादि आणावें.

ला आहे तो असा कीं सरणारें वजन (भ) या भाराला ज्या चिन्हावर समतोल-नांत धरितें तें चिन्ह त्याचें मान सुचवितें.

या यंत्राचें मूळकारण आणि दांडीला चिन्हित करावयाची रीति फार सोपी आहे. (भ) हा भार आधारापासून जी (भी) ही त्याची लांबी आहे तिणे गुणिला असतां हा गुणाकार आणि (श) हें वजन (शी) या आधारापासूनचा लांबीने गुणिलें असतां या गुणाकाराशीं समान आहे ह्मणजे (भ×भी)= (श×शी). ही स्थापना तरफेचा साधारण गुणाने प्राप्त झालेलें समतोलनाचें प्रमाण आहे. आतां आधारापासून (भ) या भाराची (भी) ही लांबी सर्वदां एकसारिखीच राहती आणि (श) हें वजनही बदलत नाहीं त्यास्तव (भ) हा भार कोणत्याही प्रमाणाने अधिक किंवा उणा केला असतां त्याच प्रमाणे गुणाकारांची समता ठेवावयासाठीं (शी) ही लांबी अधिक किंवा उणी केली पाहिजे. ह्मणजे (भ) याला द्विगुण अथवा त्रिगुण केला असतां (शी) हिला तशीच द्विगुण अथवा त्रिगुण केली पाहिजे आणि पुढेंही तसेंच आहे.

औंसाचें मान सुचवावयासाठीं तुळाला चिन्हित करावयाचा असला तर (स) यावर एक औंस पदार्थ योजून जोंपर्यंत दांडी समान स्थितींत स्थिर होई तों पर्यंत (श) या वजनाला (ज) या कडे सारावें. पुनः (स) यावर दोन औंस योजून जों पर्यंत दांडी समान स्थितींत होई तोंपर्यंत (ज) यापासून (श) याला सारावा. आतां या प्रकारें प्राप्त झालेल्या वजनाचा दोहों स्थितींवर दोन चिन्हें करून तितक्याच अंतरावर (ज ब) या भुजांचा सर्व लांबीवर तशाच अंतराने समान भाग चिन्हित करावे. आतां (ज) याचा जवळचा

पहिल्या

अरदांडीचा गुरुत्वमध्य आधारामध्ये किंवा त्याचे खाली नसला तर तीं चिन्हें अन्य रीतीने केलीं पाहिजेत. तीं अशीं. आधाराचा भाराकडल्या दिशेवर (ड) या स्थलीं दांडीचा गुरुत्वमध्य आहे असें पहिल्याने कल्पावें. या प्रकारांत दांडी भाररहित असली तर तिचा (स) हा शेवट नमेल. भाररहित दांडीला समान ठेवावयासाठीं जथें (श) हें वजन योजिलें पाहिजे तें स्थल (फ) आहे आणि (अफ) या लांबीला (फी) ह्मणावी. या तूळाला पूर्वोक्ताप्रमाणे औंसाचीं चिन्हें करावीं. (फ) एथे (श) या वजनाला ठेऊन (स) एथे एक औंस योजावा. आणि (फ) एथे एक चिन्ह केलें असतांजोंपर्यंत समतोलन प्राप्त होई तोंपर्यंत (ज) यापासून वजनाला सारावें आणि त्या स्थलीं दुसरें चिन्ह करावें. नंतर समान अंतराने (ब) याकडे सतत चिन्हें करावीं. आतां (फ) यापासून आरंभून कोणीएका चिन्हावर (श) हें वजन ठेविलें असतां तें किती औंसांला समतोलनांत धरील तें त्या चिन्हावरील अंक दाखवील. उदाहरण. (जड) या लांबीला (डी) ह्मणावी आणि दांडीचा स्वकीय भाराला (जी) ह्मणावा (ड) एथे दांडीचा सर्व भार क्रिया करीत असतां (सज) या भुजाला नमवावयाचा त्याचा यत्न (जी × डी) या गुणाकाराने मोजिला आहे आणि त्याच भुजाला नमवावयास (भ) याचा यत्न (भ × भी) या गुणाकाराने मोजिला आहे. हे दोन्हीं यत्न (जब) या भुजाला नमवावयाचा जो (श) याचा यत्न आहे त्याणे प्रतिहत केले आहेत. हा (श) याचा यत्न (श) आणि (ज) यांपासून (श) याचा लांबी या दोहोंचा गुणाकाराने मोजिला आहे. (फ) यापासून (श) याची लांबी (शी) आहे यास्तव त्याची (ज) यापासून जी लांबी आहे ती (शी + फी) ही होईल आणि जो गुणाकार

आतां

विली असे पूर्वी सांगितले आहे यास्तव (जब) या भुजाला नमवावयास (श) याचा यत्नाला जो (श × फी) हा गुणाकार मोजितो तो (सज) या भुजाला नमवावयास दांडीचा भाराचा यत्नाला जो (जी × डी) हा गुणाकार दाखवितो त्याशीं समान आहे. यास्तव (जी × डी) आणि (श × फी) हे समान गुणाकार पूर्वोक्त समान गुणाकारापासून वजा केले असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे (भ × भी = श × शी).

सारांश.(भ) हा भार कोणत्याही प्रमाणानें वाढविला किंवा उणा केला असतां (शी) ही लांबी त्याच प्रमाणानें वाढविली अथवा उणी केली पाहिजे परंतु ज्या स्थितींत (श) हें वजन भाररहित दांडीला समतोलनांत ठेवितें त्या (फ) या स्थितीपासून (श) याची लांबी (शी) आहे यास्तव (फ) या बिंदूपासून चिन्हें आरंभिलीं पाहिजेत.

जर गुरुत्वमध्य मोठ्या भुजांत असला तर लहान्या भुजांत ज्या बिंदूवर वजन राहून भाररहित दांडीला समतोलनांत ठेवितें त्या बिंदूपासून चिन्हें आरंभिलीं पाहिजेत. स्पष्टार्थ. हा बिंदु (ड) आहे आणि दांडीचा गुरुत्वमध्य (फ) आहे आणि (जड) व (जफ) या लांबींला पूर्वोक्त नामें देऊन (ड) यावर वजन पूर्वी योजिलें आहे असें कल्पिलें असतां (स) याशीं (भ) हा भार योजून जोंपर्यंत समतोलन प्राप्त होई तोंपर्यंत वजनाला (ज) याकडे सारावें. जेव्हां (श) हें वजन (ड) आणि (ज) यांचे मध्यें आहे तेव्हां समतोलन प्राप्त होतें असें प्रथम कल्पावें. आणि (ड) यापासून (श) याची लांबी (शी) असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे

भ

(भ×भी+श×डी+श×शी−श×शी=जी×फी+श×शी)

ह्मणजे (भ×भी+श×डी=जी×फी+श×शी)

आतां (सज) या भुजाला नमवावयास (ड) यावर जो वजनाच्या यत्न आहे तो (श×डी) या गुणाकाराने दाखविला आहे आणि (जब) या भुजाला नमवावयास जो दांडीचा भाराचा यत्न आहे त्याला (जी×फी) हा गुणाकार दाखवितो आणि हे यत्न समान आहेत यास्तव (श×डी) आणि (जी×फी) हे गुणाकार समान आहेत. हे पूर्वोक्त समीकरणापासून वजा केले असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजें:

(भ×भी=श×शी).

यास्तव कोणत्याही प्रमाणाने (भ) हा भार वाढविला असतां त्याच प्रमाणाने (शी) या लांबीला वाढविली पाहिजे आणि (शी) ही लांबी (ड) या बिंदूपासून मोजिली आहे यास्तव त्या बिंदूपासून चिन्हें आरंभिलीं पाहिजेत.

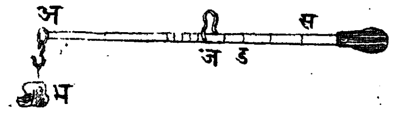
वजन मोठ्या भुजावर असतांही तसाच नियम वास्तविक आहे परंतु या निबंधाचा संक्षेपामुळें याचा विचार एथे करीत नाहीं.

जो भार या यंत्राने कळू येतो त्याला कोणी एक मर्यादा आहे असें स्पष्ट आहे. तें असें (ब) याचा सर्वांहून जवळचा चिन्हावर वजन आणिलें असतां जो सर्वांहून मोठा भार यंत्राने कळू येतो तितकाच भार उचलिला आतो याहून अधिक भार उचलितां येत नाहीं. याहून मोठे भार तोलावयास अन्य दोन रीति आहेत. त्या अशा. पूर्वोक्ताहून मोठें वजन कामांत घ्यावें किंवा लहान्या भुजावर जो पूर्वोक्त टांगावयाचा बिंदु आहे त्याहून टांगावयाचा बिंदु आधाराचे अधिक जवळ आणावा. यांतल्या कोणीएका युक्तीने

क्तीने

... भाररहित दांडीचा गुरुत्वमध्य (स) आहे आणि (सज) ही लांबी (क्ष) आहे. एथे भुजाला नमवावयास दांडीचा (जी) या भाराचा यत्न (जी× क्ष) हा गुणाकार आहे. दुसऱ्या भुजाला नमवावयास (भ) या भाराचा यत्न (भ × अज) किंवा (भ × $\overline{\text{अस}-\text{जस}}$) हा गुणाकार आहे. आतां (अस) या लांबीला (ए) ह्मणावी. नंतर समतोलनाचें प्रमाण असें आहे ह्मणजे

(आ· २८)



$$(\text{जी}\times\text{क्ष}=\text{भ}\times\text{ए}-\text{भ}\times\text{क्ष})$$ ह्मणजे.

$$(\text{जी}\times\text{क्ष}+\text{भ}\times\text{क्ष}=\text{भ}\times\text{ए})$$ यापासून असें प्राप्त होतें ह्मणजे:

$$\text{क्ष}=\frac{\text{भ}\times\text{ए}}{\text{जी}+\text{भ}}$$

(४६) यापासून चिन्हें करावयाची रीति प्राप्त होती. (स) यापासूनतीं चिन्हें आरंभिलीं पाहिजेत हें स्पष्ट आहे. कारण जेव्हां आधारभूत कडी त्या बिंदूवर आहे तेव्हां दांडी भाररहित असून समतोलनांत राहती. जर रतलांचा प्रमाणाचीं चिन्हें करावयाचीं असलीं तर यंत्राच्या (जी) हा भार रतलाचा मानाचा आणावा आणि (ए) ह्मणजे (अस) ही लांबी इंचांची आणावी. (भ) हा भार एका रतलाचा आहे असें पूर्वीं कल्पिलें असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे ($\text{क्ष}=\frac{\text{ए}}{\text{जी}+१}$). (भ) हा भार (२)(३)(४) इत्यादि रतलांचा अनुक्रमाने कल्पिला असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे:

$$\text{क्ष}=\frac{२\text{ए}}{\text{जी}+२}$$
$$\text{क्ष}=\frac{३\text{ए}}{\text{जी}+३}$$
$$\text{क्ष}=\frac{४\text{ए}}{\text{जी}+४}$$ इत्यादि आणावें.

उदा

$$क्ष = \frac{३६}{८} = ४\frac{१}{२}$$

$$क्ष = \frac{५४}{९} = ६$$

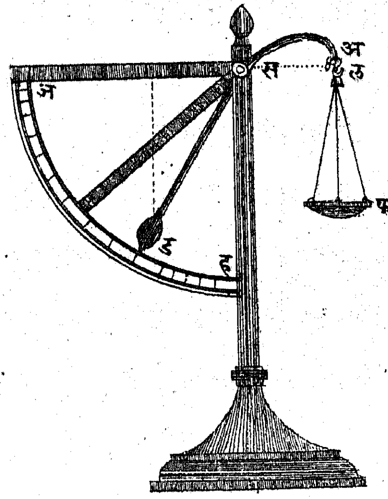
$$क्ष = \frac{७२}{१०} = ७\frac{१}{५}$$

हे अनेक अंक (स) यापासून जा अनेका चिन्हांचा लांबी आहेत त्यांस इंचांरूपाने दाखवितात.

(अ) याशीं (१,२,३,४) इत्यादि रनल अनुक्रमाने योजून जी आधाराची स्थिति समतोलन उत्पन्न करिती ती परीक्षेने शोधण्याने हें यंत्र परीक्षेनेही चिन्हित करितां येईल.

(४७) वांकड्या तरफेची तुला (२९) आकृतींत दाखविली आहे. वांकड्या तरफेचा एका भुजाशीं (ल) या स्थलीं जें (फ) हें परडें जोडिलें आहे त्यांत तोलावयाचा पदार्थ ठेवीत असतात. (सड) या दुसऱ्या भुजाची मर्यादा एका वजनंशीर गोळ्याने केली आहे. हा गोळा (अइ) या चिन्हित धनुष्यावर चालत असतो. भार (सअ) या भुजाला जसा नमवितो तसा (भ) याची तरफपणा सतत कमी होतो आणि (ड) हा गोळा धनुष्यावर वरचे दिशेकडे चालतो यास्तव त्याचा तरफपणा सतत वाढतो. जेव्हां (ड) या गोळ्याला भाराला समतोलनांत ठेवावयाची अवस्था प्राप्त होती तेव्हां चिन्हित धनुष्यावरचा जा चिन्हावर सूचक प्रमाण

(आ. २९)

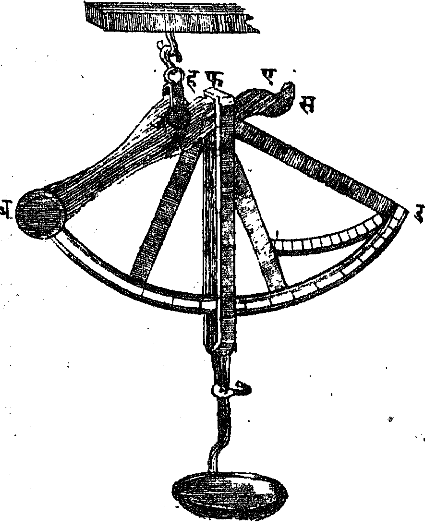


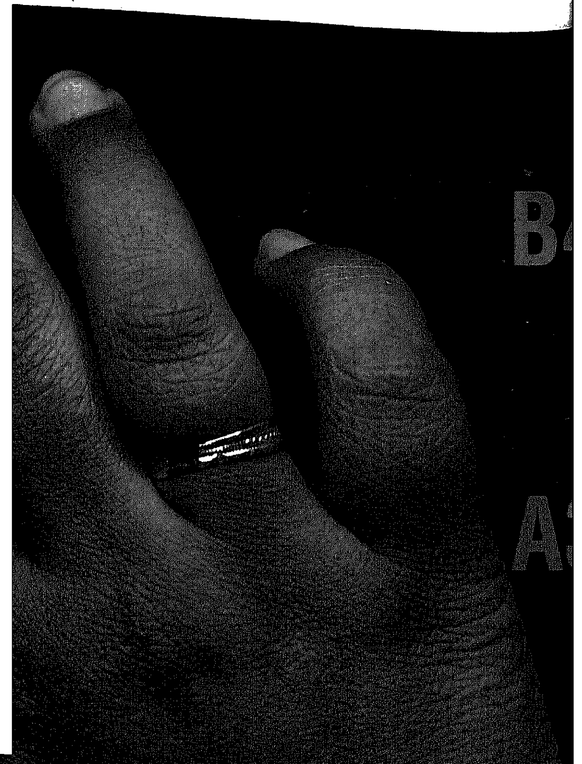
चें कोणतेंही इतर मान परड्यांत घातलें असतां अनुक्रमेकरून जा सूचकाचा स्थिति आहेत त्या स्थिति चिन्हें करावयाचीं स्थलें ठरवितील.

परीक्षेवांचून शिक्षामालेचा विचारावरून धनुष्याला चिन्हित करावयाची दुसरी रीति प्राप्त होईल परंतु ही रीति एथे सांगवत नाहीं.

(४८) आतां कांहीं वांकड्या तरफेचा तुलेसारिख्या अलीकडल्या एका यंत्राचें वर्णन करून या निबंधाचा हा भाग संपवितो. हें यंत्र ब्रेडीसाहेबाची तुला आहे. ती (३०) आकृतींत दाखविली आहे. (ब स ड) हें एक लोखंडी त्रिकोण आहे. हें (ब) याकडे सर्व इतर भागांहून फार जाडें आणि जड आहे. आणि (ज) या आधारावर आधारिलें आहे. (फ) हें एक चलित अडकण आहे. यास एक आंकडा किंवा परडें तोलावयाचा पदार्थ योजावयासाठीं लाविलें आहे. (ह फ ए) या तीन निर्निराळ्या स्थिति आहेत. त्यामध्यें हें अडकण ठेवितां येतें आणि या स्थितींसाठीं तीन निर्निराळीं चिन्हितमापकें आहेत. जेव्हां पदार्थ आंकड्याशीं योजिला असतो किंवा परड्यांत ठेविला असतो तेव्हां हें यंत्र (ज) या आधाराशीं धनुष्याकार फिरून जों पर्यंत समतोलन प्राप्त होई तों पर्यंत (स) ही बाजू खालीं येती आणि अडकणाचा स्थितीशीं जें मापक अनुरूप आहे त्याचा चिन्हाचा अंकापासून भाराचें मान

(आ. ३०)





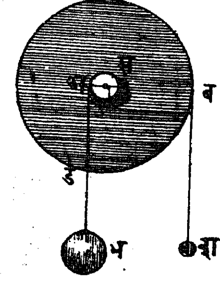
णि तें दोहों औंसांचे मानानें चिन्हित केलें आहे. तिसरें एक आहे तें तीस रत-
लांहून अधिक पदार्थांचीं मानें दाखवीत नाहीं आणि तें चार औंसांचे माना-
नें चिन्हित केलें आहे.

भाग ६

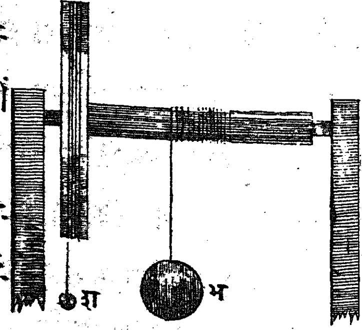
यांत अक्षचक्र.—शक्ति योजायाच्या रीति.—विंड्लास.—का-
प्स्टन्.—कीलाचें चेपण.—या यंत्राचे दुर्गुण.—आणि हे दुर्गुण
काढावयाच्या रीति.—शक्ति किंवा प्रतिरोध यांच्या फारफेर दू-
र करावयाची रीति.—यांचें निरूपण केलें आहे.

(४९) लहान्या प्रदेशांतून क्रिया करणारें असें एक फार मोठें बल लहा-
न्या शक्तीनें उत्पन्न करावयाचें असतां साधारण तरफ ह्मणजे केवल तरफ किंवा
समुदित तरफ असें कार्य सिद्ध करावयास चांगली आहे परंतु सर्व प्रकारां-
मध्यें असें यंत्र फार लहान्या प्रदेशांतून क्रिया करीत असतें आणि शक्तीची
क्रिया फारकरून राहून राहून होत असती असा या यंत्रामध्यें एक दुर्गुण आ-
हे. उदाहरण. तरफेनें कोणीएक भार उचलावयाचा असतां त्या भाराचा जा
बिंदूशीं तरफेचा क्रिया करणारा शेवट योजीत असतात त्या बिंदूचे कांहींसा
वर आधाराला फारकरून ठेवीत असतात. यास्तव जा शेवटाला शक्ति योजिली आ-
हे तो शेवट आधाराचे वर असतो. या शक्ति योजिलेल्या शेवटाला नमवी-
त असतां जोंपर्यंत तो शेवट थोडकासा आधाराचे खालीं येई आणि जो
शेवट

(८०) ह्या या यंत्राचें गेंयी एक दुगुण आहे यास्तव तसें काम कराया-स तरफेचें एक रूपांतर आहे जास अक्षचक्र ह्मणजे आंसाशीं बसविले-लें चक्र ह्मणतात तें घेतात. या यंत्राचें (अस) हें सिलिंडर आणि (बड) हें चक्र आहे. या दोहोंची अक्षरेषा * एकच आहे. सिलिंडराचे दोहों शे-वटांस कील आहेत जिहींकरून यंत्र फिरत असतें.



(आ. ३१)



(आ. ३२)

(३१) आकृतींत या यंत्राचें जें छिन्नांग चक्राचे पृष्ठाचे दिशेंत आहे तें दाखविलें आहे आणि (३२) आकृतींत चकावरल्या लंबदिशेंत जें पृष्ठ आहे तें दाखविलें आहे. (श) ही शक्ति चकाचे घेरावर आणि फारकरून (बश) या स्पर्शरेषेचा दिशेंत योजिली असती. आणि एक दोरी सिलिंडरावर गुंडाळिली असती. ती दोरी भार उचलावयाचें किंवा प्रतिरोध दूर करावयाचें साधन आहे. (७) कलमांत पाहिलें असतां हें यंत्र तरफेचे केवळ रूपांतर मात्र आहे असें स्पष्ट होईल. आणि याच कलमांतजीं सामान्य मूलकारणें स्थापिलीं आहेत त्यापासून रथे समतोलनाचें प्रमाण फलित होतें. (र) ह्या चकाचा अर्धव्यास आहे आणि (री) आंसाचा अर्धव्यास आहे असें कल्पिलें असतां समतोलनाचें

* अक्षरेषा ह्मणजे चक्र किंवा सिलिंडर इत्यादिकांचा मध्यें जी आंसासारिखी रेषा मानिली असती जिला मध्य धरून ते पदार्थ फिरत असतात ती.

(१२) इंचांचा आहे व भार (८) रतलांचा आहे आणि आंसाचा अर्धव्यास (३) इंचांचा आहे तर प्रत्येक गुणाकार (२४) आहे यास्तव समतोलन प्राप्त होईल. कधीं हें प्रमाण अन्य प्रकाराने दाखविलें आहे. तें असें. आंसाचा अर्धव्यास चक्राचा अर्धव्यासाशीं जसें प्रमाण ठेवितो तसें प्रमाण शक्तीश भाराशीं ठेविलें पाहिजे ह्मणजे:

श: भ:: री: र

(९१) गुणवद्वेगाचे बीजाविषयीं (९) कलमांत जें सांगीतलें आहे त्याचें एक उदाहरण हें यंत्र आहे तें सहज आणायास येतें. जो प्रदेश चक्राचे घेराशीं समान आहे तितक्या प्रदेशांतून चक्राचा एका फेऱ्यांत शक्ति खालीं येऊन आंसाचे घेराशीं जो प्रदेश समान आहे त्या प्रदेशांतून भार वर जातो. यापासून भाराचे वेगास शक्तीचा वेग जसा आहे तसा आंसाचे घेरास चक्राचा घेर आहे असें फलित होतें. आणि वर्तुलाचे घेर त्यांचे अर्धव्यासाचे प्रमाणांत आहेत * यास्तव चक्राचा अर्धव्यास जसा आंसाचा अर्धव्यासास आहे तसा (व) हा शक्तीचा वेग (वी) या भाराचे वेगास आहे ह्मणजे:

व: वी:: र: री

आतां पूर्वी जें स्थापिलें आहे त्या प्रमाणे भार शक्तीशी अशाच प्रमाणांत आहे ह्मणजे अर्धव्यासाचे प्रमाणांत आहे यास्तव असें फलित होतें ह्मणजे:

भ: श:: व: वी ह्मणजे

श × व = भ × वी.

सप्तार्थ. शक्तीचा वेगाने शक्ति गुणिली असतां हा गुणाकार भाराचा वेगाने भा-

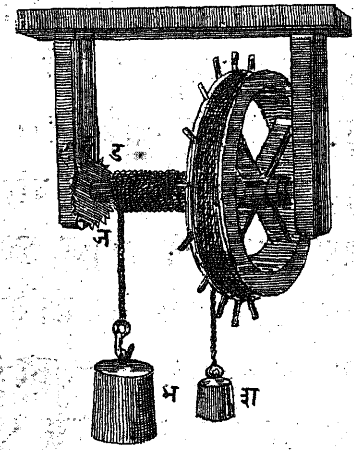
---

* जार्वीस साहेबाचे आविष्कारण भुमितीचे सिद्धांतांत पाहावें.

वा यास्तव भाराला खालीं उतरूं दिल्यावांचून शक्तीची क्रिया बंद करावयास शक्य होई असें एक युक्तीचें चक्र आहे जाला वक्रदंतचक्र ह्मणतात. तें आंसाला ह्मणजे प्रकृत सिलिंडराला जोडीत असतात.

(३३) या आकृतींत (जड) हें असें चक्र दाखविलें आहे. या चक्राचा धारेवर दंत लाविले आहेत. ते दंत केंद्रापासूननीट दिशेंत योजिले नाहींत तर जा दिशेंत सिलिंडरावर दोरी गुंडाळिली आहे त्या दिशेंत ते सर्व वळविले आहेत. आणि एक बांकडी चिमणी ह्मणजे अडकण आहे तें (ह) एथे खिळीवर क्रिया करीत असतां आपल्या स्वकीय भाराने आंसाला जोडिलेल्या वक्रदंतचक्राचा दंतांमध्यें शिरून चक्र व सिलिंडर यांस जा दिशेंत भार उचलिला जातो त्या दिशेंत मात्र फिरूं देतें दुसऱ्या दिशेंत त्यांस फिरूं देत नाहीं असें त्याचें कार्य आहे. यास्तव (जड) या चक्रावर (ह) या

(आ· ३३)



चिमणीची क्रिया होत असती तोंपर्यंत तो भार खालीं उतरणार नाहीं. शक्तीची क्रिया बंद केल्याचे पूर्वी जें तिचा क्रियेपासून फल प्राप्त होतें तें तसेंच ठेऊन अशा यंत्राचे योगाने शक्तीची क्रिया इच्छानुरूप बंद करितां येती.

(५३) चक्रावर शक्ति योजावयाचा रीति अनेक आहेत आणि कोणत्याही प्रकाराने शक्ति योजिली असतां तिचा शिल्पकार्याचें जें सामान्य

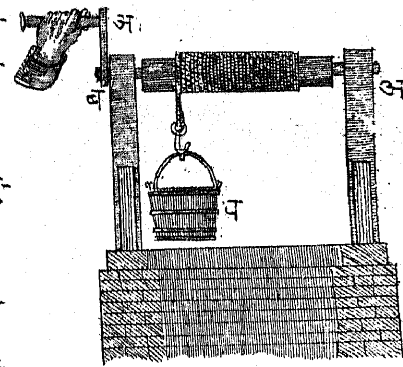
रूप

हे. याप्रकारें शक्ति योजायाचें उदाहरण मोठ्या गलबताचा बावें फिरवाच-
याचा चक्रावर स्पष्ट होईल.

असे मांदळ्यामध्यें रचे योजीत असतात तसे कधीं चक्रावांचून नुस्त्या आंसामध्येंच लांब लांब तरफा शिरवून त्या तरफांनी क्रिया करणारा मनुष्य आंसाला फिरवीत असतो. हें (३५) आकृतींत दाखविलें आहे.

विंड्लास ह्मणून एक यंत्र आहे. याचेठायीं चक्र किंवा पूर्वीप्रमाणे त्यांव तरफा नसतात केवल छिद्रें मात्र असतात. त्या छिद्रांत एक फार बळकट आणि मोठ्या लांबीच्या अशा गजाचा शेवट शिरवून तरफप्रमाणे त्या गजाचा योगाने आंसाला वारंवार फिरवून कामकरणारा भाराला उचलीत असतो. आणि असें तो काम पुढें चालवितो तसें त्या गजाला एका छिद्रांतून काढून दुसऱ्या छिद्रांत शिरवीत असतो. दुसऱ्या छिद्रांत शिरवीत असतां मधल्या अवकाशांत वक्रदंतचक्राची क्रिया होती त्यामुळें भार जागीच्याजागीं अटकलाजातो.

(आ. ३४)

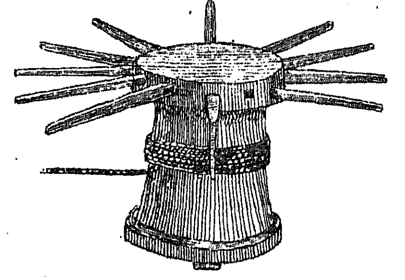


विंड्लास याचेठायीं कधीं विंचेनेही क्रिया करीत असतात असें (३४) आकृतींत दाखविलें आहे. (अब) या आंसावर सिलिंडर जोडिलें आहे आणि या आंसाशीं काटकोन रूपाने (ब ओ) ही तरफ जोडिली आहे आणि (ओ) यापासून (ओड) असा एक भुज आहे. यावर कामकरणाऱ्याचे हात योजिले जात असतात. या यंत्रावयवाला विंच ह्मणतात. या युक्तीने कामकरणाराची क्रिया यंत्रावर प्रत्येका फे-

ज्यांत

आंस कधीं आडव आणि कधीं उभे अस-
तात. विंड्लास आणि अनेका जातींचीं क्रेन् यांचेठायीं आंस फारकरून आडवा असतो. कापूष्टन् याचेठायीं उभा असतो जसें (३५) आकृतींत दाखविलें आहे. कापूष्टन् यांत आंसाचा उभ्या स्थितीचा लाभ फार स्पष्ट आहे. तरफांस शिरवावयाविषयीं जीं छिद्रें केलीं आहेत त्यांत त्या तरफा शिरवून त्यांला आपले पुढें ढकलवून काम करणारे आंसाभोंवती फिरतात. या प्रकारची क्रिया अनेक मनुष्य साध्य आहे यास्तव तीं मनुष्यें उत्तरोत्तर बदलतीवेळेस शक्तीची क्रिया बंद होत नाहीं.

(आ·३५)

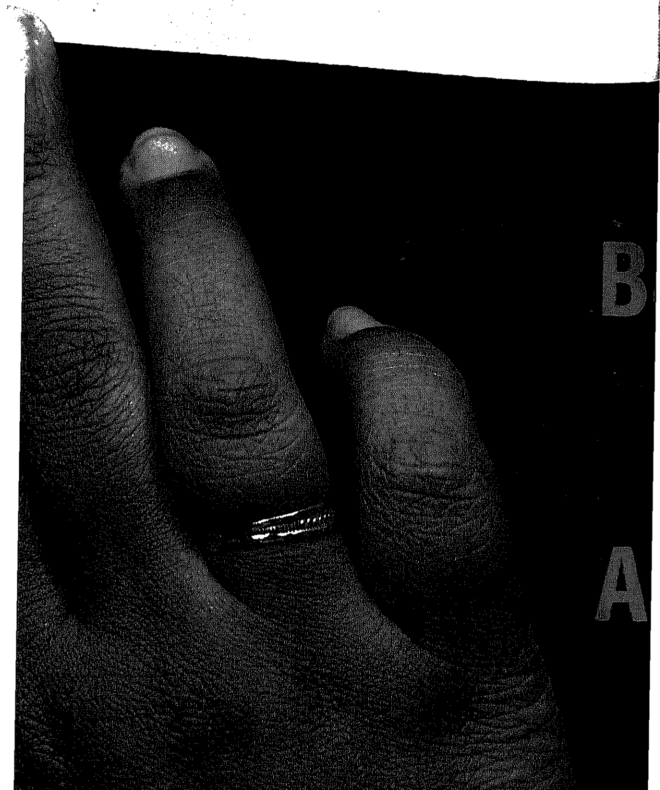


(५५) जीं अनेक बलें एकाच कालीं एकाच चक्राचे घेराचे निर्निराळ्या भागांवर आणि अर्धव्यासांवरच्या लंबदिशेंत क्रिया करीत असतात. तर तीं सर्व एकाच बिंदूवर क्रिया करीत असतां जा रीतीने त्यांचें कार्य मोजिलें जातें तसें त्या सर्वांचें एकवटलेलें कार्य मोजिलें जातें.

जर तीं निर्निराळ्या लांबीचा तरफांनी क्रिया करीत असतात तर प्रत्येक शक्ति जा तरफेने ती क्रिया करित्ती त्या तरफेने गुणिली असतां या सर्व गुणाकारांची बेरीज सर्व कार्य दाखवावयासाठीं घ्यावी. हें (१०) कलमांत स्पष्ट आहे.

(५६) प्रतिरोध ह्मणजे भार जा दोरीने क्रिया करितो ती दोरी फार जाडी असली तर भाराचें कार्य मोजावयासाठीं दोरीचा जाडीचें अर्ध सिलिंडराचा अर्धव्यासाचा एक भाग आहे असें मानिलें पाहिजे. कारण

दोरीचा



जर आंस आडवा असला तर यंत्राचा सर्व भार कीलांवर असतो आणि त्याचा गुरुत्वमध्य कीलापासून समान अंतराने असला तर त्यांवर तो भारसमतेने वांटिला जातो ह्मणजे एका एका कीलावर यंत्राचा अर्ध अर्ध भार चेपीत असतो. आणि आंस उभा असला तर सर्व भार खालचे कीलावर असतो.

भार आणि शक्ति यांचीं चेपणें किलांवर कोणत्या प्रकाराने वांटिलीं असतात तें (३) भागांत जीं मूलकारणें स्थापिलीं आहेत त्यांणी नियमिलें जाईल. शक्ति आणि भार यांचीं जीं चेपणें कीलांवर आहेत तीं कीलांपासून जा त्यांचा लांबी आहेत त्यांचा व्यस्तप्रमाणांत असतात असें त्या मूलकारणांवरून दिसतें. ह्मणजे शक्ति किंवा भार याची एका कीलापासून जी लांबी आहे ती दुसऱ्या कीलापासून जी लांबी आहे तिशीं असें प्रमाण ठेविती तसें यांचा जो भाग या दुसऱ्या कीलावर चेपितो तो भाग पहिल्या कीलावर जो भाग चेपितो त्याशीं प्रमाण ठेवितो.

या विचारांत यंत्र गतिमंत आहे असें मानीत नाहींत शक्तिभाराला उचलून धरिती इतकें मात्र मानितात.

(९५८) केवल अक्षचक्राचें रूप किंवा विशेष कसाही असो तथापि त्याचें शिल्पकर्तृत्व चक्राचा अर्धव्यास आणि आंसाचा अर्धव्यास यांचा प्रमाणाचा स्वाधीन आहे ह्मणजे जा तरफेने शक्ति क्रिया करिती तिची लांबी भाराला उचलणारी दोरी जा सिलिंडराला गुंडाळली आहे ती त्या सिलिंडराचा अर्धव्यासाशीं जशीं आहे तसें आहे. हें शिल्पकर्तृत्व वाढविण्याचा रीति दोन मात्र आहेत

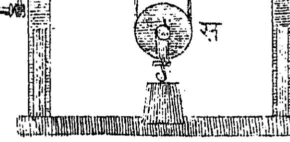
कांहीं अवधि नाहीं असें सिद्धांती विचारावरून फलित होतें तथापि यंत्राचें शिल्पकर्तृत्व वाढवावयास अनुभवसिद्ध अवधि आहे.

शक्तीला फार मोठा तरफपणा देऊन तिचें कर्तृत्व वाढवावयासय-त्न केला असतां यंत्र अकटोविकट होईल आणि शक्ति गैरसोईचा फार मोठ्या प्रदेशांतून क्रिया करायास लागेल आणि वाढविलेल्या शक्तीपासून जो लाभ प्राप्त होतो तो वास्तविक अनुभवावरून पाहिल्याने जें अहित होतें त्याणे प्रतिहत आहे.

आणि आंसाची आडी कमी करून यंत्राचें कर्तृत्व वाढवीत असतां भाराला उचलणारा जो यंत्राचा अवयव आहे त्याचें बल कमी होतें.आणि यंत्राचा मोठ्या कर्तृत्वाचें प्रयोजन मोठें भार उचलणे किंवा मोठे प्रतिरोध दूर करणे हेंच आहे यास्तव यंत्राचा जा अवयवावर भार ह्मणजे प्रतिरोध क्रिया करितो त्या अवयवाला अवश्य फार बल पाहिजे.

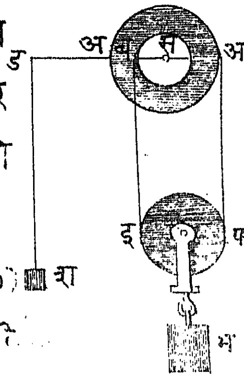
जा प्रकारांत फार मोठे प्रतिरोध दूर करावयाचे आहेत त्याविषयीं अशी एक चमत्कारिक युक्ति आहे जिचा योगाने यंत्रांत फार खटपट पडत नाहीं आणि आंसाची आडीही पाहिजे तितकी ठेवून पुरें बल प्राप्त होतें आणि शक्तीचा तरफपणा फार वाढविल्याने यंत्र जें अकटोविकट होतें तेंही होत नाहीं आणि शक्ति मोठ्या मानाची प्राप्त होती यास्तव अशी युक्ति योजणे हें फार चांगलें उपयोगाचें कृत्य आहे.

(९९) उक्त प्रकारचीं फलें सिद्ध करावयासाठीं (३६) आकृतींत अक्षचक्राचें रूपांतर दाखविलें आहे या आकृतींत (अब) हा आंस ह्मणजे



चा चक्राचा एका बाजूने खालीं नेऊन दुसऱ्या बाजू-
ने वर आणून सिलिंडराचा दुसऱ्या अवयवाला पहि-
ल्या अवयवाला जा दिशेंत गुंडाळिली आहे त्या दिशेंतच गुंडाळिली आहे. एथे भा-
राचें उचलणे या प्रकारें घडतें ह्मणजे दोरी जाड्या अवयवावर गुंडाळिली
जाई अशा दिशेंत आंसाला फिरविला असतां बारक्या अवयवावरून
ती दोरी अगत्य सुटून चिंचेचा प्रत्येका फेऱ्यांत जाडया अवयवाचे घेराशीं
समान जो दोरीचा भाग आहे तो जाडया अवयवाला गुंडाळिला जातो आ-
णि बारक्या अवयवाचा घेराशीं समान जो दोरीचा भाग आहे तो सुटून खा-
लीं येतो. यास्तव दोरीचा जितक्या भागावर भाराचें ओझें आहे त्याची स-
र्व लांबी आंसाचा जाड्या आणि बारक्या अवयवांचा घेरांमध्ये जें अंतर आ-
हे तितक्या अंतराच्या लांबीने कमी केली जाईल. असें एका फेऱ्याचें कार्य आहे.
यास्तव दोरीचा त्या भागाचा अर्धभाग या घेरांमधल्या अंतराचा अर्ध अंत-
राने कमी केला जातो. परंतु दोरीचा जा भागाने भार उचलिला आहे त्याचा
अर्धभाग भाराला जोडिलेल्या कप्पीचे चक्राचें जें सिलिंडरापा-
सून अंतर आहे त्याशीं समान आहे यास्तव सिलिंडराचा प्रत्ये-
क फेरा सिलिंडराचे लहान मोठ्या अवयवांचे घेरांचें जें अंतर
आहे त्या अंतराचा अर्ध इतक्या प्रदेशांतून भाराला वर नेतो
असें स्पष्ट आहे.

(आ·३७)



या यंत्राचे समतोलनाचें प्रमाण ठरवायाची रीति (३७)
आकृतीवरून स्पष्ट होईल. या आकृतींत सिलिंडराचा लंबा

शेंत

आणि (फअ) हे दोरीचे दोन्ही भाग भाराला समतेने उच्चलितात. यास्तव प्रत्येका भागावर जें बल आहे तें भाराचे अर्धाइतकें आहे. आतां जा तरफेनेश क्ति क्रिया करिती त्या तरफेला (र) ह्मणावी आणि (सअ) या अर्धव्यासाला (री) ह्मणावा आणि (सब) या अर्धव्यासाला (रे) ह्मणावा. नंतर (१०) कलमांतल्या मूलकारणाप्रमाणे समतोलनाचें प्रमाण असें होईल ह्मणजे

$$श \times र + \frac{1}{2} भ \times रे = \frac{1}{2} भ \times री \text{ ह्मणजे}$$

शक्ति आपल्या तरफपणाने गुणली असतां तो गुणाकार आणि अर्धभारसिलिंडराचा लहान्या अवयवाचा अर्धव्यासाने गुणिला असतां तो गुणाकार या दोहोंची बेरीज अर्धभार आणि सिलिंडराचा मोठ्या अवयवाच्या अर्धव्यास यांचा गुणाकाराशीं समान आहे ह्मणजे

$$श \times र = \frac{1}{2} भ \times री - \frac{1}{2} भ \times रे \text{ ह्मणजे}$$

$$श \times र = भ \times \frac{1}{2} (री - रे).$$

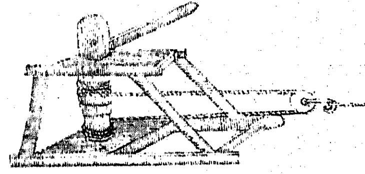
ही स्थापना पूर्व स्थापनेसारिखीच आहे ह्मणजे शक्ति आपल्या तरफपणाने गुणिली असतां हा गुणाकार आणि भार सिलिंडराचा लहान्या मोठ्या अवयवांचा अर्धव्यासांचा अंतराचा अर्धाने गुणिला असतां तो गुणाकार हे दोन्हीं समान आहेत.

हें प्रमाण वक्ष्यमाण प्रकारेंही दाखविलें जाईल ह्मणजे जा तरफपणाने शक्ति क्रिया करिती तो तरफपणा सिलिंडराचा दोहों अवयवांचा अर्धव्यासांचा अंतराचा अर्धाशीं जसा प्रमाणांत आहे तसा भार शक्तीशीं आहे ह्मणजे

र्ध्यासांचें अंतर कमी केल्याने मर्यादा सोडून शिल्पकर्तृत्व वाढविलां येतें अ-सें पूर्वोक्त प्रमाणाच्या विचारावरून स्पष्ट आहे. अशा युक्तीने शक्ति सोईच्या प्र-देशांतून क्रिया करील यंत्रही अकटोविकट होणार नाहीं आणि सिलिंडरा-ची जाडी व बल जितकें असावें तितकें ठेवितां येईल.

याचा मूलकारणाप्रमाणें केलेलें कापूष्टन (३८)आकृतींत दाखवि-लें आहे.

(आ·३८)



या यंत्राचेठायीं शक्ति सुटली असतांही भार खालीं जायाजोगें यंत्र उलटें फिरत नाहीं. आ-णि वक्रदंतचक्र व चिमणी यांचाही उपयोग लागत नाहीं. असा या यंत्रामध्ये विशेष लाभ आहे.

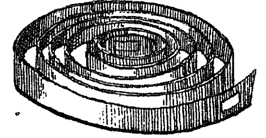
अल्प उच्च प्रदेशांतून भाराला उचलावयासाठीं दोरी फार लांब पाहिजे फारकरून इतकें या यंत्राचेठायीं अहित आहे परंतु अशा शक्तीचें अन्य यं-त्रांत दोरीचा उपयोग असतो त्या यंत्रांपेक्षां यांत दोरी फारकमी लागते.

डाक्तर ग्रेगरी साहेब ह्मणतो कीं जार्ज एखहार्ड साहेबानें हें यंत्र अपू-र्व उत्पन्न केलें असें लोक ह्मणतात परंतु हें यंत्र पूर्वी होतें हें नजाणून जार्ज एखहार्ड साहेबाने उत्पन्न केलें असेल असें भासतें कारण या यंत्राची आ-कृति चीन लोकांच्या शंभर वर्षांपलीकडल्या प्राचीन नकाशामध्ये प्रसिद्ध आ-हे तिपासून डाक्तर साहेबाने एक प्रत करून घेतली. ती प्रत एथे (३६)आ-कृतींत दाखविली आहे. आणि ग्रेगरी साहेबाचे शिल्पविद्येच्या दुसऱ्या पुस्त-काचा तिसऱ्या पृष्ठावर प्रसिद्ध आहे.

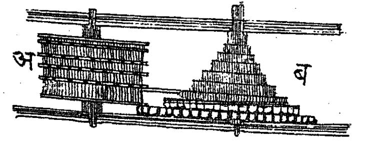
वस्था पावती तशा शक्तीने जो प्रतिरोध कोणीएका आणिलेल्या प्रकाराने वि-
षमावस्था पावला आहे त्या प्रतिरोधाला प्रतिहत करावयाचा असतां अ-
सें केलें पाहिजे ह्मणजे ज्या तरफपणाने शक्ति आणि प्रतिरोध हे प्रत्येक
किंवा दोन्हीं क्रिया करीत असतात तो तरफपणा शक्तीचें कार्य कांहीं रू-
पांतर पावून प्रतिरोधाचा विषमावस्थेशीं अनुरूप होई अशा युक्तीने तो न्यू-
नाधिक केला पाहिजे. असें केल्याने एकाचा दुसऱ्याशीं संबंध ठेवितां येईल.

हें उदाहरणावरून अधिक स्पष्ट होईल. जिला स्थितिस्थापक गु-
ण असतो अशी एक पोलादाची पात्ती आहे तिचे (अ) या डबींत ठेविलेलें
वेटाळें जाला लोक कमाण ह्मणतात तें प्रकृत उदा-
हरणीं शक्ति आहे असें कल्पावें. हें (३९) आणि (४०)
आकृतींत दाखविलें आहे. या डबीचा आंतल्या बा-
जूला त्या कमाणीचा एक शेवट जोडिला आहे आणि
ज्या आंसावर (अ) ही डबी फिरती त्या आंसाला दुस-
रा शेवट जोडिला आहे. (अ) या डबीला एक सांखळी
गुंडाळलेली आहे. या सांखळीचा एक शेवट डबीला
जोडिला आहे आणि दुसरा शेवट (ब) या फ्युजी-
ला जोडिला आहे. हा फ्युजि हैपरबोलाचा आकाराचा असून आंसावर फिरत अ-
सतो व याला मूळापासून अग्रापर्यंत वेंटाळ्याचे आकृतीची खंचणी सां-
खळी गुडाळायासाठीं केली आहे. ती सांखळी (अ) ही डबी फिरत असतां
तिजपासून जशी जशी सुटती तशी तशी त्या फ्युजीला गुंडळत असती. प्र-

(आ. ३९)



(आ. ४०)



तिरोध

बीतली कमाण आसनाभावता गच्च गुंडळली आणि डबाला उलटा फिरायविषयीं यत्न प्राप्त करिती. हा यत्न सांखळीचा योगानें (ब) या फ्युजीला प्राप्त होऊन त्याचा वरचा भागाचा तरफपणानें फ्युजीला फिरवितो. या तरफपणाचा योगानें सांखळीची ओढ ह्मणजे त्या कमाणीचा स्थितिस्थापक बळाचें मान प्रतिरोधावर क्रिया करितें. तिचें कार्य सांखळीची ओढ फ्युजीचा हैपरबलाचा* आकाराचा जा भागावर सांखळी क्रियाकरिती त्या भागाचा अर्धव्यासानें गुणिली असतां त्या गुणाकारानें तें कार्य मोजिलें जातें. जसा जसा हा फ्युजि फिरतो आणि सांखळी (ब) या फ्युजीपासून सुटून (अ) या डबीवर गुंडाळती तसें तसें कमाणीचें मान कमी होतें यास्तव जा ओढीनें सांखळी फ्युजीवर क्रिया करिती ती ओढ उत्तरोत्तर कमी होती आणि या ओढीनें जो प्रतिरोध दूर करावयाचा आहे तो तसाच रहातो परंतु जशी जशी सांखळी फ्युजीचा अग्रापासून सुटत जाती तशी तशी तळाकडे जाड्या भागावर येत असती असें ध्यानांत ठेवावें. यास्तव सांखळीची ओढ उत्तरोत्तर अधिक तरफपणानें क्रिया करीत असती यास्तव ती सतत वाढणाऱ्या शिल्पकर्तृत्वानें क्रिया करीत असती. उत्तरोत्तर वाढणाऱ्या तरफपणानें सांखळीची ओढ फ्युजीवर क्रिया करीत असतां तिपासून जो लाभ प्राप्त होतो तो कमाणीचा उत्तरोत्तर कमी झालेल्या स्थितिस्थापक बळानें जो तोटा होत असतो तो त्याशीं समान होतो. अशा युक्तीचा फ्युजीला हैपरबलाकार आकृति दिधली आहे. अशा जातीचा आकृतीनें तोट्या नफ्याचीं जीं कार्यें आहेत तीं परस्परांचा तोटा नफा समान करीत असतात आणि प्रतिरोधावर एक सारिखीक्रियाहोती असें फल प्राप्त होतें.

* हैपरबला ह्मणजे एक चक्ररेषेची आकृति आहे ती जार्वीस साहेबाचा भूमितीचा पुस्तकांत पहावी.

या भागांत चक्रसंघात.-- चक्रांचा घर्षणाने बल पोंचविणे.-- वादीचा योगाने बल पोंचविणे.--पत्राक्ष आणि दंतचक्र.--दंताची आकृति.--दंताची संख्या.--पंजर आणि पंजराचे गज.--शूलदंत.समांतरदंत.तिर्यक्दंत.-- यांचें निरूपण केलें आहे.

(६१) एकल्या अक्षचक्राचा योगाने सर्व काम सोईने सिद्ध होतें असें नाहीं तर जीं अक्षचक्रें परस्परांवर क्रिया करितात त्यांचे रचनेचा योगाने फार करून शक्तीचें कार्य प्रतिरोधावर पाठवावयास लागतें. अक्षचक्र जसें तरफेचें रूपांतर मात्र आहे तसें परस्परांवर क्रिया करणाऱ्या अशा चक्रांची रचना तरफसंघाताचें रूपांतर मात्र आहे आणि या दोहोंमध्यें जें समतोलनाचें प्रमाण आहे तें त्या दोहोंचें एकसारिखेंच आहे.

चक्रसंघाताचे ठायीं पहिल्या चक्राचा घेरावर शक्ति योजिली असतां पहिल्या आंसाचा घेरावर तिचें कार्य पोंचतें. या आंसाचा घेराची प्रेरणा अनेक साधनांनी दुसऱ्या चक्राचा घेरावर होती आणि दुसऱ्या चक्राचें कार्य दुसऱ्या आंसावर होतें. या दुसऱ्या आंसाची प्रेरणा तिसऱ्या चक्रावर होती आणि या तिसऱ्या चक्राचें कार्य तिसऱ्या आंसावर होतें. या प्रकारेंच शक्तीची क्रिया जा शेवटल्या आंसावर प्रतिरोध ह्मणजे भार योजिला आहे त्याचा घेरावर सततपरंपरा संबंधाने पोंचती. जा साधनांनी पोंचती त्यांचें वर्णन पुढें होईल.

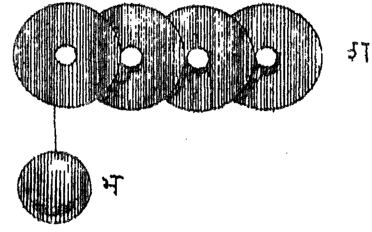
प्रत्येक

होते तें पूर्वोक्त जी चक्रपरंपरा त्याच्या कार्याशीं समान आहे. यास्तव शक्ति सर्व चक्रांचा अर्धव्यासांचा गुणाकाराने गुणिली असतां हा गुणाकार सर्व आंसांचा अर्धव्यासांचा गुणाकाराने भार गुणिला असतां त्या गुणाकाराशीं समान आहे असें समतोलनाचें प्रमाण आहे. उदाहरण. (र रे रै) हे चक्रांचे अर्धव्यास आहेत आणि (री रो रौ) हे आंसांचे अर्धव्यास आहेत. असें असतां हें फलित होतें ह्मणजे

$$(श \times र \times रे \times रै = भ \times री \times रो \times रौ).$$

(६२) हें पूर्वोक्त वर्णन (४१) आकृतींत जी अक्षचक्रांची परंपरा दाखविली आहे तिजवरून अधिक स्पष्ट होईल. जा चक्रावर शक्ति क्रिया करिती त्याचा अर्धव्यास (र) आहे आणि त्याचा आंसाचा अर्धव्यास (री) आहे यास्तव हें चक्र पहिल्या जातीची तरफ आहे. हिचा आधार चक्राचें केंद्र आहे. पहिल्याचक्राचा आंस (री) या आपल्या अर्धव्यासाचा तरफपणाने दुसऱ्या चक्राचा घेरावर क्रिया करितो. हें दुसरें चक्रही पहिल्या जातीची तरफ आहे आणि हिचा आधार चक्राचें केंद्र आहे. पहिल्या आंसाचा (री) हा अर्धव्यास दुसऱ्या चक्राचा (रे) या अर्धव्यासावर क्रिया करीत असतां दुसऱ्या आंसाचा (रो) या अर्धव्यासाला प्रेरणा देतो. आणि तिसऱ्या चक्राचा (रै) या अर्धव्यासाला प्रेरणा देऊन (रौ) या तिसऱ्या आंसाचा अर्धव्यासाला प्रेरणा देतो आणि भाराला उचलितो.

(आ. ४१)

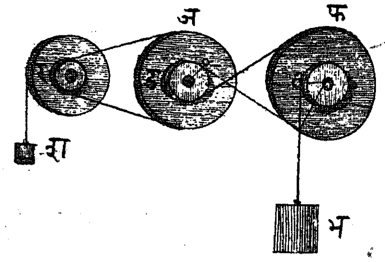


(६३) या प्रकारांत चक्रें आणि आंस आपल्या घेराचा घर्षणाने क्रिया

र्यासाठीं चक्र आणि आंस याच्या धारांवर मृदु चर्म धांवासारिखें खिळीत असनात. विलायतदेशीं टेलर साहेबाचें एथे अर्कसयंत्र आहे त्यांत सुमारें २० वर्षांपर्यंत अशा प्रकारचा घर्षणाने काम चालत आहे आणि तें काम फार चांगलें सुयंत्र चाललें आहे.

(६४) प्रत्येका आंसाचें बल आपल्या सन्निहित चक्राचा घेरावर पोंचवायाविषयीं दुसऱ्या रीति आहेत. त्या अशा. अक्ष आणि चक्र जीं परस्परांवर क्रिया करितात यांचा घेरावर वादी किंवा दोरी योजूनही क्रिया करीत असतात ही एक साधारण रीति आहे. एथे वादीचा किंवा दोरीचा ओढणीने एकापासून दुसऱ्यावर क्रिया पोंचत असती आणि चक्राचा घेरावर वादीचा घर्षणामुळें तिला कर्तृत्व प्राप्त होत असतें त्या प्रकारचीं चक्रें आणि आंस यांची योजना (४२) आकृतींत दाखविली आहे. चक्र आणि ज्या आंसापासून याला गति प्राप्त होती तो आंस हे दोन्हीं एकाच दिशेंत फिरवायाचे असतां ती वादी साधारण माळे सारिखी योजितात जशी (र) हा आंस आणि (ज) हें चक्र यांवर दाखविली आहे. आणि भिन्न दिशेंत फिरवायाचे असतां ती वादी सव्यापसव्य योजीत असतात जशी (ड) हा आंस आणि (फ) हें चक्र यांवर दाखविली आहे. या सव्यापसव्य योजनेमध्यें कांहीं लाभ आहे. कारण. योजिलेली वादी त्या चक्राचा अधिक धारेला व्यापून क्रिया करीत असती यास्तव घर्षण अधिक होतें.

(आ. ४२)



(६५)

विषयीं यत्न प्राप्त करिती. हा यत्न सांखळीचा योगाने (ब) या फ्युजीला प्राप्त होऊन त्याचा वरचा भागाचा तरफपणाने फ्युजीला फिरविती. या तरफपणाचा योगाने सांखळीची ओढ ह्मणजे त्या कमाणीचा स्थितिस्थापक बलाचें मान प्रतिरोधावर क्रिया करितें. तिचें कार्य सांखळीची ओढ फ्युजीचा हैपरबलाचा* आकाराचा ज्या भागावर सांखळी क्रियाकरिती त्या भागाचा अर्धव्यासाने गुणिली असतां त्या गुणाकाराने तें कार्य मोजिलें जातें. जसा जसा हा फ्युजि फिरतो आणि सांखळी (ब) या फ्युजीपासून सुटून (अ) या डबीवर गुंडाळती तसें तसें कमाणीचें मान कमी होतें यास्तव ज्या ओढीने सांखळी फ्युजीवर क्रिया करिती ती ओढ उत्तरोत्तर कमी होती आणि या ओढीने जो प्रतिरोध दूर करावयाचा आहे तो तसाच रहातो परंतु जशी जशी सांखळी फ्युजीचा अग्रापासून सुटत जाती तशी तशी तळाकडे जाड्या भागावर येत असती असें ध्यानांत ठेवावें. यास्तव सांखळीची ओढ उत्तरोत्तर अधिक तरफपणाने क्रिया करीत असती यास्तव ती सतत वाढणाऱ्या शिल्पकर्तृत्वाने क्रिया करीत असती. उत्तरोत्तर वाढणाऱ्या तरफपणाने सांखळीची ओढ फ्युजीवर क्रिया करीत असतां तिपासून जो लाभ प्राप्त होतो तो कमाणीचा उत्तरोत्तर कमी झालेल्या स्थितिस्थापक बलाने जो तोटा होत असतो तो त्याशीं समान होतो. अशा युक्तीचा फ्युजीला हैपरबलाकार आकृति दिधली आहे. अशा जातीचा आकृतीने तोट्या नफ्याचीं जीं कार्यें आहेत तीं परस्परांचा तोटा नफा समान करीत असतात आणि प्रतिरोधावर एक सारिखी क्रिया होती असें फल प्राप्त होतें.

---

* हैपरबला ह्मणजे एक चक्ररेषेची आकृति आहे ती जार्वीस साहेबाचा भूमितीचा पुस्तकांत पहावी.

या भागांत चक्रसंघात.– चक्रांचा घर्षणानें बल पोंचविणें– वादीचा योगानें बल पोंचविणें.– पत्राक्ष आणि दंतचक्र.– दंताची आकृति.– दंताची संख्या.– पंजर आणि पंजराचे गज.– शूलदंत, समांतरदंत, तिर्यक्दंत.– यांचें निरूपण केलें आहे.

(६१) एकल्या अक्षचक्राचा योगानें सर्व काम सोईनें सिद्ध होतें असें नाहीं तर जीं अक्षचक्रें परस्परांवर क्रिया करितात त्यांचे रचनेचा योगानें फार करून शक्तीचें कार्य प्रतिरोधावर पाठवावयास लागतें. अक्षचक्र जसें तरफेचें रूपांतर मात्र आहे तसें परस्परांवर क्रिया करणाऱ्या अशा चक्रांची रचना तरफसंघाताचें रूपांतर मात्र आहे आणि या दोहोंमध्यें जें समतोलनाचें प्रमाण आहे तें त्या दोहोंचें एकसारिखेंच आहे.

चक्रसंघाताचेठायीं पहिल्या चक्राचा घेरावर शक्ति योजिली असतां पहिल्या आंसाचा घेरावर तिचें कार्य पोंचतें. या आंसाचा घेराची प्रेरणा अनेक साधनांनी दुसऱ्या चक्राचा घेरावर होती आणि दुसऱ्या चक्राचें कार्य दुसऱ्या आंसावर होतें. या दुसऱ्या आंसाची प्रेरणा तिसऱ्या चक्रावर होती आणि या तिसऱ्या चक्राचें कार्य तिसऱ्या आंसावर होतें. या प्रकारेंच शक्तीची क्रिया जो शेवटल्या आंसाचर प्रतिरोध ह्मणजे भार योजिला आहे त्याचा घेरावर संततपरंपरा संबंधानें पोंचती. जा साधनांनी पोंचती त्यांचें वर्णन पुढें होईल.

प्रत्येक

सर्व चक्रांचा अर्धव्यासांचा गुणाकाराने गुणिली असतां हा गुणाकार सर्व आंसांचा अर्धव्यासांचा गुणाकाराने भार गुणिला असतां त्या गुणाकाराशीं समान आहे असें समतोलनाचें प्रमाण आहे. उदाहरण- (र रे रै) हे चक्रांचे अर्धव्यास आहेत आणि (री रो रौ) हे आंसाचे अर्धव्यास आहेत. असें असतां हें फलित होतें ह्मणजे

(श × र × रे × रै = भ × री × रो × रौ)

(६२) हें पूर्वोक्त वर्णन (४१) आकृतींत जी अक्षचक्रांची परंपरा दाखविली आहे तिजवरून अधिक स्पष्ट होईल. जा चक्रावर शक्ति क्रिया करिती त्याचा अर्धव्यास (र) आहे आणि त्याचा आंसाचा अर्धव्यास (री) आहे यास्तव हें चक्र पहिल्या जातीची तरफ आहे. हिचा आधार चक्राचें केंद्र आहे. पहिल्याचक्राचा आंस (री) या आपल्या अर्धव्यासाचा तरफपणाने दुसऱ्या चक्राचा घेरावर क्रिया करितो. हें दुसरें चक्रही पहिल्या जातीची तरफ आहे आणि हिचा आधार चक्राचें केंद्र आहे. पहिल्या आंसाचा (री) हा अर्धव्यास दुसऱ्या चक्राचा (रे) या अर्धव्यासावर क्रिया करीत असतां दुसऱ्या आंसाचा (रो) या अर्धव्यासाला प्रेरणा देतो. आणि तिसऱ्या चक्राचा (रै) या अर्धव्यासाला प्रेरणा देऊन (रौ) या तिसऱ्या आंसाचा अर्धव्यासाला प्रेरणा देतो आणि भाराला उचलितो.

(आ॰ ४१)

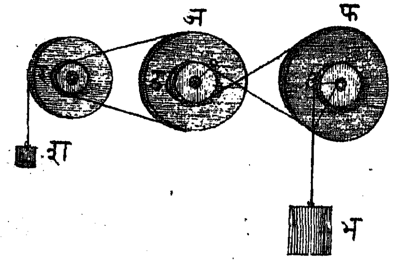
(६३) या प्रकारांत चक्रें आणि आंस आपल्या घेराचा घर्षणाने क्रि-

या

र्यासाठीं चक्र आणि आंस याचा धारांवर मृदु चर्म धांवासारिखें खिळीत असतात. विलायतदेशीं टेलर साहेबाचें एथे अर्कसयंत्र आहे त्यांत सुमारें २०व र्षांपर्यंत अशा प्रकारचा घर्षणानें काम चालत आहे आणि तें काम फार चांगलें सुयंत्र चाललें आहे.

(६४) प्रत्येका आंसाचें बळ आपल्या सन्निहित चक्राचा घेरावर पोंचवायाविषयीं दुसऱ्या रीति आहेत. त्या अशा. अक्ष आणि चक्र जीं परस्परांवर क्रिया करितात यांचा घेरावर वादी किंवा दोरी योजूनही क्रिया करीत असतात ही एक साधारण रीति आहे. एथे वादीचा किंवा दोरीचा ओढणीनें एकापासून दुसऱ्यावर क्रिया पोंचत असती आणि चक्राचा घेरावर वादीचा घर्षणामुळें तिला कर्तृत्व प्राप्त होत असतें त्या प्रकारचीं चक्रें आणि आंस यांची योजना (४२) आकृतींत दाखविली आहे. चक्र आणि ज्या आंसापासून याला गति प्राप्त होती तो आंस हे दोन्हीं एकाच दिशेंत फिरवायाचे असतां ती वादी साधारण माळे सारिखी योजितात जशी (र) हा आंस आणि (ज) हें चक्र यांवर दाखविली आहे. आणि भिन्न दिशेंत फिरवायाचे असतां ती वादी सव्यापसव्य योजीत असतात जशी (ड) हा आंस आणि (फ) हें चक्र यांवर दाखविली आहे. या सव्यापसव्य योजनेमध्यें कांहीं लाभ आहे. कारण योजिलेली वादी त्या चक्राचा अधिक धारेला व्यापून क्रिया करीत असती यास्तव घर्षण अधिक होतें.

(आ. ४२)



(६५)

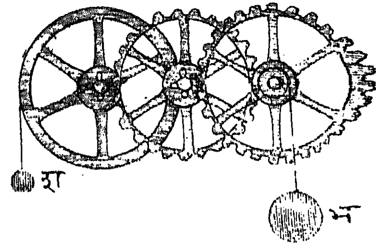
णि आंसांचा पारघरल्या सारा अवयवाला पत्रं ह्मणतात आणि तसल्या आसाला पत्राक्ष ह्मणतात.

पत्राक्षाचीं हीं पत्रें चक्राच्या दंतांमध्यें अनुक्रमाने नीट शिरत असतात यास्तव दंत आणि पत्रें यांचा मोठेपणा आणि आकृतिही समान असतात. यास्तव चक्र आणि पत्राक्ष यांचे घेर आपापले दंत आणि पत्रें यांचा संख्येचे प्रमाणांत आहेत. आणि चक्रांचे घेर आपापल्या अर्धव्यासांचा प्रमाणांत असतात यास्तव दंत आणि पत्रें यांचा संख्या अर्धव्यासांचा प्रमाणांत असतात. (६१) कलमांत जें समतोलनाचें प्रमाण ठरविलें आहे त्यामध्ये अक्ष आणि चक्रें यांचा त्या अर्धव्यासांचा स्थानीं दंत आणि पत्रें यांचा संख्या घेतल्या असतां समतोलनाचें प्रमाण असें आहे ह्मणजे शक्ति सर्व चक्रांचा दंतांचा संख्यांचा गुणाकाराने गुणिली असतां तो गुणाकार सर्व पत्राक्षांचा पत्रांचा संख्यांचा गुणाकाराने भार गुणिला असतां त्या गुणाकाराशीं समान आहे. आतां (ण णे णै) या चक्रांचा दंतांचा संख्या आणाव्या आणि (णी णो णौ) या पत्राक्षांचा पत्रांचा संख्या आणाव्या. एणेकरून समतोलनाचें प्रमाण असें होईल ह्मणजे:

(श × ण × णे × णै = भ × णी × णो × णौ.) असें आहे.

दंतचक्र आणि पत्राक्ष यांची रचना (४३) आकृतींत दाखविली आहे. या प्रकारांत शक्ति पहिल्या चक्रावर दोरीने क्रिया करिती. पूर्वोक्त समतोलनाचें प्रमाण एथे योजावयाचें असलें तर या अवस्थेंत घेरावरले दंत आणि पत्रें मोजून मात्र त्यां-

(आ. ४३)



-चा

चा संख्या उपयोगांत घेतल्या पाहिजेत.

(६६) चक्रसंघात गुणवद्वेगाचा नियमांत आहे असें अनायासाने दाखविनां येईल. गुणवद्वेगाविषयीं (५) कलमांत पाहावें. सर्व दंत समानआहेत यास्तव प्रत्येका चक्राचा घेर जा पत्राक्षाचा घेराने प्रेरिला आहे त्याशीं समान वेगाने फिरत असतो. चक्र वारी किंवा घर्षण यांचा योगाने चालवीत असतांही हा नियम तसाच आहे. आतां प्रत्येक चक्र आपल्या आंसाशीं समान कालांत फिरतें यास्तव त्यांचा घेरांचे वेग घेरांचे प्रमाणांत आहेत ह्मणजे चक्राचा अर्धव्यास किंवा त्याचा दंतांची संख्या यांचे प्रमाणांत आहेत. याजवरून पहिलें चक्र आणि आंस यांचे अर्धव्यास परस्परांशीं जसे प्रमाणांत आहेत तसा शक्तीचा वेग ह्मणजे पहिल्या चक्राचा घेराचा वेग पहिल्या आंसाचा घेराचा वेगाचा प्रमाणांत आहे असें सिद्ध होतें.आणि पहिल्या आंसाचा घेराचा वेग दुसऱ्या चक्राचा घेराचा वेगाशीं समान आहे आणि या दुसऱ्या चक्राचा घेराचा वेग दुसऱ्या आंसाचा घेराचा वेगाशीं आपापल्या अर्धव्यासांचा प्रमाणांत आहे. आणि याच प्रकारें हा विचार चालिला असतां सर्व चक्रांचा अर्धव्यासांचा गुणाकार सर्व आंसांचा अर्धव्यासांचा गुणाकाराशीं जा प्रमाणांत आहे त्या प्रमाणांत शक्तीचा वेग भाराचा वेगाशीं आहे असें प्राप्त होतें. यास्तव शक्ति स्ववेगाने गुणिली असतां हा गुणाकार भार स्ववेगाने गुणिला असतां त्या गुणाकाराशीं समान आहे.

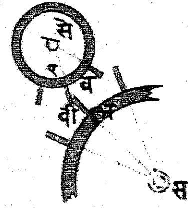
हें उदाहरणावरून अधिक स्पष्ट होईल. उदाहरण. पहिल्या चक्राचा दंतांची संख्या (१००) आहे आणि पहिल्या पत्राक्षाचा पत्रांची संख्या (९) आणि दुसऱ्या व तिसऱ्या चक्रांचा दंतांचा संख्या (१२०) आणि (१३०) अशा आहेत. आणि त्यांचा पत्राक्षाचा पत्रांचा संख्या (७) आणि (११) अशा आहेत. पहिल्या चक्राचा घेराचा वेग जर (१) असला तर दुसऱ्या चक्राचा घेराचा

वेग

वेग ($\frac{९}{१००}$) असा आहे. हा वेग दुसऱ्या पत्राक्षाचा घेराशीं किंवा तिसऱ्या चक्राचा घेराशीं जसें (७) यांस (१२०) हे आहेत तसा आहे. यास्तव तिसऱ्या चक्राचे घेराचा वेग ($\frac{९\times७}{१००\times१२०}$) असा आहे. पुनः हा वेग शेवटल्या अक्षांचा घेराशीं जसे (११) यांस (१३०) हे आहेत तसा आहे यास्तव हा वेग($\frac{९\times७\times११}{१००\times१२०\times१३०}$) असा आहे. ही स्थापना पूर्वोक्ताच्या खरेपणा दाखविती.

(६७) चक्राचा उत्पत्तिप्रकारांत दंताचा आकृतीकडे फार लक्ष ठेविलें पाहिजे. कारण याचें कर्तृत्व आणि चिरकालस्थिति हीं दोन्हीं फारकरून या आकृतीचा स्वाधीन आहेत. (४४) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें दंत केले आहेत असें कल्पावें. या आकृतींत (अब) हा दंत (एबी) या दंताला मेरीत असतां तो (स) या केंद्राभोंवती (सअब) यावर जी लंब दिशा आहे तींत चालेल. त्यामुळें (एबी) या दंतावर (से एबी) या अर्धव्यासांवरचा तिरकस दिशेंत चेपील परंतु सर्वांहून चांगलें कार्य उत्पन्न करावयासाठीं, त्याच अर्धव्यासांवरचा लंब दिशेंत त्याला चेपिलें पाहिजे.

(आ. ४४)



पुनः चक्राचें सर्व चेपण एकाच दंतावर योजिलें जोतें यास्तव दंत मोडायाचें कारण आणि झीज हीं फार अधिक होतात. आणि चक्राचा क्रियेमध्यें जोंपर्यंत दंतांचा परस्परांशीं स्पर्श होत असतो तोंपर्यंत (एबी) यावर जें (अब) याचें चेपण असतें त्याची दिशा सतत बदलत असती. यास्तव (अब) याचा योगाने जा तरफपणाने (से) हें चक्र फिरतें तो तरफपणा सतत बदलत असतो यास्तव विषम बलाने तें चक्र फिरत असतें. असा एक इतर दोष याचेठायीं स्पष्ट आहे आणि चक्र क्रियेंत असतां (अब) या दंताची शीर (एबी) या दंताचा पृष्ठावर घांसत असती आणि जेव्हां (अब) हा दंत (एबी) याला सोडून अलीकडे येतो त्यावेळेस यंत्राला धक्का बसतो.

हे दोष दूर व्हावे यासाठीं दंताची आकृति चांगली केली पाहिजे. एतदर्थ

दंतांस

दंतांस वक्षमाण प्रकारें क्रियेंत योजिले पाहिजेत.

(पहिला प्रकार) या प्रकारांत एका चक्राचा दंताची क्रिया दुसऱ्या चक्राचा अर्धव्यासावरचा लंब दिशेंत झाली पाहिजे ह्मणजे जें चक्र फिरलें आतें त्याचा स्पर्शरेषेंत फिरविणाऱ्या चक्राचें चेपण झालें पाहिजे.

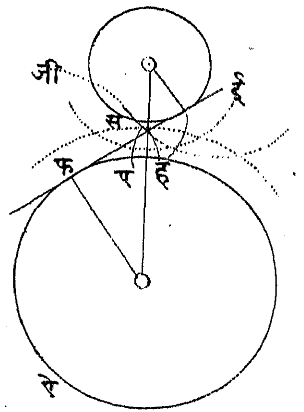
(दुसरा) या प्रकारांत एकादंतावर सर्व चेपण नपडून अनेका दंतांवर वांटिलें जाई यासाठीं एकाकालीं जितके अधिक दंत परस्पर सल्लग्न होतील तसें करावें. असें केलें असतां दंतांची झीज आणि मोडायाचें कारण कमी होईल.

(तिसरा) या प्रकारांत दंतांची परस्पर संयोगापासून वियोगापर्यंत जी क्रिया आहे ती एकाच तरफपणाने होऊन तिचें कार्य एक सारिखें व्हावें एतदर्थ चेपणाची दिशा एकच झाली पाहिजे.

(चवथा) या प्रकारांत दंताचीं पृष्टें नघासतां त्यांस क्रिया केली पाहिजे आणि दंतांस परस्परांच्या संयोगवियोग कालीं कांहीं धक्का नबसला पाहिजे.

हे पूर्वोक्त गुण सर्व किंवा कांहीं एक प्राप्त व्हायासाठीं दंतांविषयीं नानाप्रकारच्या आकृति दाखविल्या आहेत. त्यामधून विवक्षित फलें सिद्ध करायासाठीं जी सर्वोहून चांगली आकृति आहे ती (४५) आकृतींत स्पष्ट होईल.

(आ. ४५)



या आकृतींत जा चक्राला प्रकृत दंत लावायाचे आहेत त्याचा घेर (फ ह ऐ) असा आहे. आणि जा बिंदूपासून दंताची एक बाजू घेतली आहे तो बिंदु (ह) आहे आणि चक्राचा घेरावर (ऐ) या स्थळीं एक दोरी ओढून ती चक्राचे (ऐफ) या भागावर नेऊन तिच्या शेवट (ह) या स्थळीं न्यावा. आणि त्या शेवटाला एक लेखणी बांधावी. नंतर ती दोरी ताणून लेखणी सहवर्तमान अं

कन

रून करीत करीत अशी (फ) या बिंदूपासून जी स्पर्शरेषा निघाली आहे त्या स्पर्शरेषेपर्यंत नेऊन पुनः (फ) बिंदु निराळा कल्पून त्याचा स्पर्शरेषेपर्यंत न्यावी. असा वारंवार (फ) बिंदु निर्निराळा कल्पून (ह स जी) अशी वक्ररेषा काढावी. चक्राचा घेरावर (एह) ही दंताची रुंदी आहे. आतां चक्राचा दुसऱ्या बाजूवर पूर्ववत् दोरी योजून तिचा तो लेखणीसहवर्त्तमान शेवट (ए) या बिंदूवर नेऊन पूर्ववत् वक्ररेषा काढावी. या दोहों वक्ररेषांमध्यें जो प्रदेश आहे तो दंताची आकृति दाखविती. या आकृतीने विवक्षित फलें सिद्ध होतात आणि हिला पूर्वोक्त गुण आहेत.

पत्राक्षाचीं पत्रें याच प्रकारें केलीं पाहिजेत.

(फई) ही रेषा दोहों चक्रांला स्पर्शीत असती आणि दंतांचे जितके ओड एका कालीं परस्परांशीं स्पर्शीतात त्यांचा त्या सर्व स्पर्शबिंदूंमधून शिरली आहे. आणि ती रेषा जा बिंदूंवर तीं दंतांचीं पृष्ठें परस्परांशीं सलग्न होतात त्या बिंदूंचेठायीं त्या पृष्ठांचा दिशांवर लंब आहे असा हा या वक्ररेषांचा चांगला गुण आहे. यास्तव अक्षपत्राचें चेपण दोहों चक्रांची जी स्पर्शरेषा आहे तिचा दिशेंत चक्रावर होत असतें यास्तव एकाच तरफपणाने आणि सर्वांहून चांगल्या लाभाने क्रिया होती.

जा कालपर्यंत कोणीएका दंतांचा जोडाची सलग्नता असती त्या कालपर्यंत चेपण एकाच दिशेंत आणि एकाच बलाने क्रिया करितें यास्तव तें चेपण विषम नसलें तर अवश्य एकसारिखेंच कार्य उत्पन्न करितें.

चक्राचा क्रियेमध्यें दंतांचीं पृष्ठें परस्परांशीं घांसत नाहींत तीं परस्परांवर लोटत जात असतात यास्तव घर्षणाचीं सर्व कार्यें फारकरून दूर होतात आणि यंत्राची झीज आणि शक्तीचा तोटा फार कमी होतो.

अनेक दंत एकाच कालीं सलग्न असतात आणि सर्व समान बलाने क्रिया करितात यास्तव चेपण सर्वांवर समतेने वांटिलें जातें आ-

णि

णि मोडायाचीं कारणें फार कमी होतात.

सारांश. दंताचा या आकृतीला सर्व विवक्षित गुण आहेत.

(६८) चक्राचा दंतांची संख्या आणि जो पत्राक्ष या चकाला प्रेरितो त्याचा पत्रांची संख्या नियमित करीत असतां झीजेच्या विषम भाव दूर करावयासाठीं चक्राचा जा दंताशीं जाची एकदां भेट झाली त्याशीं त्याची पुनः भेट व्हायास जितके अधिक फेरे होतील तसें करावें. उदाहरण. पत्राक्षाचा पत्रांचा संख्येचा दशगुण चकाचा दंतांची संख्या आहे असें कल्पिलें असतां प्रत्येक पत्र चक्राचा दाहव्या दाहाव्या दंताला स्पर्श करील त्यामुळें चक्राचा प्रत्येका फेऱ्यांत त्याच दाहाव्या दाहव्या दंताला स्पर्श होईल. सर्व दंत आणि पत्रें शिक्षामालेचा नियमाप्रमाणे शुद्धतेने करितां येतील आणि त्यांची आकृति पूर्ण तुल्यतेने करितां येईल आणि त्याचा कारण सामग्रीचा विषमपणाने त्यांत कांहीं भेद नसला तर पूर्वोक्त नियमाचें अगत्य नाहीं झीज सर्वांवर एकसारिखी समान होईल परंतु या यंत्राची अशी पूर्ण शुद्धता कधींच होत नाहीं यास्तव जा पदार्थाने हीं चक्रें निर्मिलीं आहेत त्या पदार्थांचा स्वाभाविक दुर्गुणाचे ठायीं आणि पूर्ण शुद्ध शिल्पनिर्मितीने त्यास आकृति प्राप्त होती तिचेठायीं जी विषमता असती तिची समता करावयासाठीं प्रत्येका पत्राचा चक्राचा त्याच एका दंताला पुनः स्पर्श व्हायाचापूर्वी इतर सर्व दंतांला अनुक्रमाने त्याच पत्राचा स्पर्श होई अशा युक्तीने त्या दंतपत्रांची क्रिया झाली पाहिजे.

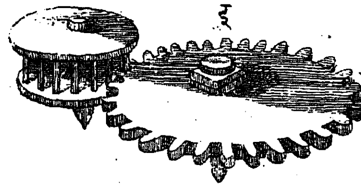
हें सिद्ध करावयासाठीं चक्राचे दंत आणि पत्राक्षाचीं पत्रें यांचा संख्या परस्परांशीं विरुद्ध असल्या पाहिजेत. विरुद्ध ह्मणजे जा संख्येने जी संख्या निःशेष भागिली जात नाहीं त्या संख्या परस्परांशी विरुद्ध जाणाव्या. आतां जी संख्या पत्रांचा संख्येने निःशेष भागिली जाती त्या संख्येला एक अंक मिळवून ती दंतांची सख्या करावी. असें केल्याने दंतपत्रांचा सं-

संख्या

त्या परस्परांशीं विरुद्ध होतात. चक्राचे निर्माते पुरुष अशा कृतीला पारधीदंताची कृति ह्मणतात. उदाहरण. पत्रें (१०) आणि चक्राचा व्यास पत्राक्षाचा व्यासापेक्षां साहापट आहे असें कल्पिलें असतां चक्राचे दंत (६०) असले पाहिजेत. तसें असतां चक्राचा प्रत्येका फेऱ्या नंतर त्या त्याच दंत पत्रांचा सतत समागम होईल ह्मणजे प्रत्येकपत्र दाहाव्या दाहव्या दंताला स्पर्श करील. आणि चक्राच्या व्यास पत्राक्षाचा व्यासाचा साहापटापेक्षां किंचित अधिक करून त्या चक्राचे दंत (६१) केले असतां पत्राक्षाचा साहाव्या फेऱ्यांनंतर जा दंताला आरंभकालीं स्पर्श केला होता त्याचा पुढल्या दंताला तें पहिलें पत्र स्पर्श करील. आणि दुसऱ्या साहाव्या फेऱ्यानंतर याचा पुढल्या दंताला स्पर्श करील. ह्मणजे गतीचा प्रारंभकालीं जा दंताला स्पर्श केला होता त्यापासून तिसऱ्या दंताला स्पर्श करील यास्तव पत्राने प्रारंभकालीं जा जा दंताला स्पर्श केला होता त्या त्या दंताला त्या त्या पत्राचा पुनः स्पर्श व्हायास चक्राचे एकसष्ट आणि पत्राक्षाचे (६×६१=३६६) फेरे झाले पाहिजेत. हें स्पष्ट आहे. यास्तव दंताची आकृति आणि सामग्री यांचा विषमतेमुळें जी झीजेची विषमता उत्पन्न होती तिची समता होत असती.

(६९) दंत पत्रांवर क्रिया न करीत असतां (४६) आकृतींत जें चक्र दारववलें आहे त्या चक्रावर क्रिया करितात. अशा जातीचा चक्राला पंजरचक्र ह्मणतात. या पंजराचे जे सिलिंडराकार दंत आहेत त्यांला गज ह्मणतात. यद्यपि चक्राचा आकृति नानाप्रकारचा आहेत तथापि जीं मूलकारणें पूर्वीं सांगीतलीं तीं शक्ति आणि प्रतिरोध यांचा संबंध नियमित करीत असतात.

(आ॰ ४६)

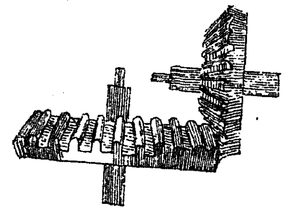


(७०)

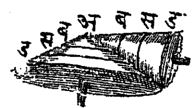
(७०) दंताची स्थिति किंवा दिशा याचा अनुरोधाने चक्रांला शूलदंतसमांतरदंत तिर्यक्‌दंत अशीं नावें ठेवितात. जेव्हां दंत चक्राचा आंसावर लंब असतात ह्मणजे अर्धव्यासाचा दिशेंत असतात जसें (४६) आकृतींत (इ) हें चक्र दाखविलें आहे त्या चक्राला शूलदंत चक्र ह्मणतात. जेव्हां दंत चक्राचा आंसाशीं समांतर असतात ह्मणजे चक्राचा पृष्ठावर लंब असतात तेव्हां त्याला समांतरदंतचक्र ह्मणतात. दोन शूलदंतचक्रें किंवा एक शूलदंतचक्र आणि एक पत्राक्ष हीं परस्परांवर क्रिया करीत असतां तीं एकाच सपाटीवर क्रिया करीत असतात आणि त्यांचे आंस समांतर असतात. आणि जेव्हां शूलदंत आणि समांतरदंत हीं चक्रें परस्परांवर क्रिया करितात तेव्हां त्यांचीं पृष्टें आणि आंस परस्परांवर लंब असतात. यास्तव या यंत्राचे योगाने वर्तुलगति समान सपाटीपासून ऊर्ध्वाधर सपाटीवर पोंचवितां येईल आणि याचें विपरीतही करितां येईल.

जेव्हां दंत चक्राचे आंसावर किंवा पृष्ठावर तिरकस असतात तेव्हां त्या चक्राला तिर्यक्‌दंतचक्र ह्मणतात, या जातिचीं दोन चक्रें (४७) आकृतींत दाखविलीं आहेत. एथे जा पृष्ठावर ते दंत केले आहेत तीं पृष्टें दोहों शंकूंचे पृष्ठभाग आहेत. जा तत्त्वाने तीं चक्रें क्रिया करितात आणि जा मूळकारणाचा स्वाधीन याची कृति आहे तीं दोन्हीं (४८) आकृतींत दाखविल्या प्रमाणे दोन शंकु परस्परांशीं आपापल्या बाजूंनी लागले आहेत असें कल्पिलें असतां स्पष्ट होईल. त्या शंकूंचा पृष्ठांला घर्षण पुर्ते असलें आणि त्यांतला एक शंकु कोणीएका शिल्पबलाने आपल्या आंसावर फिरविला असतां तो दुसऱ्याला फिरवील. आणि जर

(आ· ४७)



(आ· ४८)



र त्या शंकूचीं तळें समान असलीं तर प्रत्येक शंकु समान कालांत फिरेल ज-

से (४९) आकृतींत दाखविलें आहे. आणि जर एकाचा तळा-

चा व्यास दुसऱ्याचा तळाच्या व्यासाहून कांहीं गुण अधिक अस-

ला जरीं (४८) आणि (५०) या आकृतींत दाखविलीं आहेत

तर मोठ्या शंकूचा एका फेऱ्यापेक्षां लहान्याचे फेरे तितके गु-

ण अधिक होतील. जें आतां सगळ्या शंकूविषयीं सांगीतलें

तें त्याचा साधारण अक्षापासून समान अंतराने जे (अबस)

इत्यादि भाग आहेत त्याविषयींही तसेंच वास्तविक आहे. या

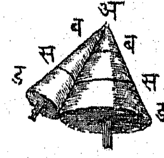
सव जाचा धारा शंकूचा पृष्ठाचे (सड) असे भाग आहेत त्या

चक्रांविषयींही वास्तविक आहे.

(आ. ४९)



(आ. ५०)



जेव्हां शंकूचा पृष्ठाचें घर्षण बल पोंचवावयास समर्थ होत नाहीं त्या

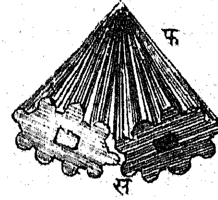
वेळेस (५१) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणे त्या पृष्ठांस दंतक-

रावे आणि जर शंकूचीं पृष्ठें पुरतीं नसलीं ह्मणजे ज्याची रुंदी

(फस) अशी आहे तर असे त्याचे भाग तिर्यक्‌दंतचक्रें होती

ल.

(आ. ५१)



एका आंसाचा भोंवतालचीं जी वर्तुलगति आहे तिचा योगाने जो आं-

स या आंसाशीं तिरकस आहे त्याचे भोंवती वर्तुल

गति उत्पन्न करावयासाठीं तिर्यक्‌दंतचक्रांचा उपयोग

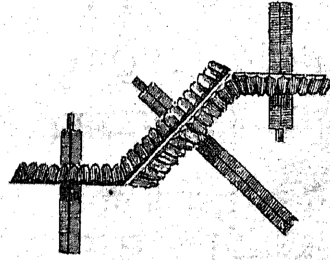
लागतो हें स्पष्ट आहे. आणि जर हे दोन्हीं आंस ए-

काच पृष्ठांत असले तर हें पूर्वोक्त कार्य दोहों तिर्य

क्‌दंतचक्रांनी केलें जाईल. या जातीचा चक्रांची र-

चना (५२) आकृतींत दाखविली आहे.

(आ. ५२)



भाग ८

या भागांत कपी.—बैठी कपी.—एकेरी चालती कपी.—स्पानिश् बर्टन्.—एका दोरीचा कप्यांची रचना.—यांचे दुर्गुण.—वैट्साहेबाची कपी.—अनेका दोऱ्यांचा कप्यांचा रचना.—यांचें निरूपण केलें आहे.

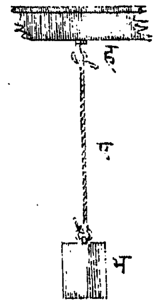
(७१) पूर्व भागांत यंत्रांचा शास्त्रार्थाविषयीं यंत्रांच्या अवयवभूत पदार्थाचेठायीं कल्पनिक अनम्रता मानिली त्यामुळें यंत्रांला पूर्ण कर्तृत्व प्राप्त झालें असें सांगीतलें परंतु भाराची क्रिया तरफेवर होत असतां भाराचें तात्पर्य असें कीं तरफेला आधाराचा टेकव्याने लववीत असावें परंतु जर ती तरफ त्याचा कार्याविषयीं अनुकूल असती तर तिचें शिल्पकर्तृत्व सर्व निष्फल होतें. हा विचार सर्व पूर्वोक्त यंत्रांविषयीं वास्तविक आहे. आणि जा पदार्थांनी तीं यंत्रें निर्माण केलीं ते पदार्थ केवल अनम्र आहेत असें ह्मणतां येत नाहीं परंतु पहिल्याने शास्त्र निर्वाहार्थ अनम्र आहेत असें कल्पावें. आणि फलकालीं जेथे नम्रता दृष्टोत्पत्तींत यावयाजोगी असती तेथे जीं फलें सिद्ध होतात त्या फलांशीं शास्त्रार्थाचा फलांला तुल्यतेस न्यावयासाठीं शास्त्रार्थाला शोधन प्रकार योजिला पाहिजे. स्पष्टार्थ. जेथे नम्रतेमुळें अनुभवसिद्ध फलांमध्यें दृष्टिगोचर अंतर पडतें त्या प्रकारांत तीं फलें शोधिलीं पाहिजेत. ही रीति विद्याभ्यासास फार सोपी आहे असें पूर्वीं सांगीतलें.

आतां जा वक्ष्यमाण यंत्राचा गुणाकडे अभ्यास करणाऱ्याचें चित्त चांगलें लागावयाचें आहे त्या यंत्राचें कर्तृत्व कारणभूत पदार्थांचा पूर्ण नम्रतेचे स्वाधीन आहे. अशा कल्पनेने सांप्रत यंत्राचा शास्त्रार्थ नियमिला जाईल. आणि जेथे अशी काल्पनिक पूर्ण नम्रता आढळत नाहीं तेथे यंत्राचीं फलें अनुभवसिद्ध व्हावयासाठीं पूर्ववत शोधन दिलें पाहिजे.

(७२)

(७२) यंत्राचा उपयोगापासून सर्वदां लाभ आहे ह्मणजे लहान्या श-
क्तीने फार मोठाले भार स्थिरबिंदूंचा आश्रयाने उचलिले जातात. चांगली न-
म्र दोरी एक यंत्र आहे या यंत्रांत हा पूर्वोक्त लाभ असून एक इतर गुण आहे
ह्मणजे शिल्पसंबंधी सोई आहे. आणि जा स्थलीं शक्ति भाराशीं ह्मणजे प्रति-
रोधाशीं समान असती त्या स्थलींही पूर्वी प्रमाणेही शिल्प सोई आहे.

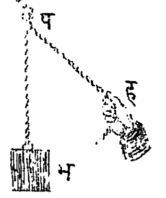
नम्र दोरीयंत्र आपल्या लांबीचा दिशेंत एका बिंदूपासून दुसऱ्या
बिंदूपर्यंत बल पोंचवावयास उपयोगांत घेतां येतें. (९३) आकृति. (आ·९३)



या आकृतींत (भ) या भाराचें बल (ए) या दोरीचा योगाने (ह) या
आंकड्यावर पोंचलें जातें आणि (ए) या दोरीवांचून केवल त्या
आंकड्याशींच तो भार योजिला असतां जसें ओढण दोरी अ-
सतां प्राप्त होतें तसेंच ओढण आंकड्यावर प्राप्त होतें. दोरीचा
लांबीचा दिशेंत ओढण पोंचवावयाची जी शक्ति आहे ती दोरी-
चा नम्रतेचा स्वाधीन नाहीं तिचा अलंबनाचा स्वाधीन आहे. हा
दोरीचा गुण अनम्र गजाचा गुणासारिखा आहे. अनम्र गजही भाराचें ओ-
ढण आंकड्यावर असेंच पोंचवितो. अनम्र गजाचेठायीं या नम्र दोरीपेक्षां
आपल्या लांबीचा दिशेंत बल ह्मणजे चेपण पोंचवायाविषयीं चांगला गु-
ण आहे. तो असा. नम्रदोरीने जा बिंदूवर बल पोंचवावयाचें आहे त्या बिंदू-
पासून आपल्याकडल्या दिशेंत जेव्हां बल योजावयाचें असतें तेव्हांच ती
दोरी एका बिंदूपासून दुसऱ्या बिंदूपर्यंत बल पोंचविती परंतु आपल्या-
पासून त्या बिंदूकडल्या दिशेंत बल पोंचवायाचें असतां त्या दोरीने सर्व-
था पोंचत नाहीं अनम्र गजाने तर तें बल सहज पोंचतें. उदाहरण. जर
भार (ह) या आंकड्यावर असून आंकड्याकडे क्रिया करितो तर (ए)
या दोरीने बल सर्वथा पोंचत नाहीं परंतु ती दोरी जर एक अनम्र गज
मानिली तर बल सहज पोंचेल.

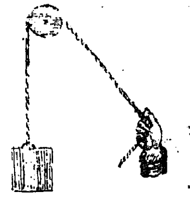
(७२) नम्र दोरीचा उपयोगांत जी सर्वांहून चांगली सोई आहे ती अशी कोणीएका दिशेंत जें बल असतें त्या बलाने इतर दिशेंत जें समान बल असतें त्याला दोरीचा योगाने समतोलनांत धरितां येतें. (९४) आकृतींत लंबतेने खालचे दिशेंत क्रिया करितो जो (भ) हा भार त्याला (पह) या दिशेंत क्रिया करिती जी शक्ति तिणे समतोलनांत धरावयाची असतां असें करावें ह्मणजे भाराचे नीटवर आणि (पह) या रेषेंत कोणीएक (प) असा बिंदु कल्पून भाराला एक नम्र दोरी योजावी आणि (प) एथल्या एका कडींतून त्या दोरीला शिरवून (ह) या स्थळीं शक्ति योजावी. तेणेकरून विवक्षित कार्य स्पष्ट घडेल. कारण. दोरी पूर्ण नम्र असून गुळगुळीत आहे असें कल्पिलें आहे यास्तव ती दोरी (प) या कडींतून शिरतीवेळेस अनम्रता आणि घर्षण यामुळें जो दोरीला कांहीं प्रतिबंध व्हावयाचा तो होत नाहीं तर ती सगळी एकसारिख्याच बलाने ताणिली जाती. तो ताण भाराशीं समान आहे.

(आ. ९४)



परंतु पूर्ण गुळगुळीत आणि नम्र अशी दोरी प्राप्त व्हावयास अशक्य आहे तशी जिचा पृष्ठाला अगदी खरखरीतपणा नाहीं अशी कडीही निर्माण करावयास अशक्य आहे यास्तव खंचणी केलेलें आणि आंसावर ह्मणजे कीलावर फिरणारें असें चक्र घेऊन ती दोरी कडींतून न शिरवितां असल्या चक्रावरून सामान्यतः सोडीत असतात. असें (९५) आकृतींत दाखविलें आहे.

(आ. ९५)



कडीचे स्थानीं चक्र योजिल्याने दोन लाभ अनुभवामध्यें स्पष्ट आहेत. ते असे. कडीचा आंतल्या बाजूवर जें दोरीचें घर्षण होत असतें तें चक्राचा योजनेने प्रायः दूर होतें. कारण दोरीचें पृष्ठ चक्राचा पृष्ठावर घांसल्यावांचून चक्राचा पृष्ठासहवर्तमान फिरत असतें हा

एक

एक लाभ आहे. आणि चक्राची ही योजना दोरीचा अपूर्ण नम्रतेमुळें जें कार्य आहे त्याला फार कमी करिती. कारण दोरी कडीवर क्रिया करीत असतां ती एकशूलासारिखें अग्र करून अकस्मात् खालीं येती आणि चक्रावर क्रिया करीत असतां चक्राचा घेराची वक्रता व्यापून खालीं उतरती. हा दुसरा लाभ आहे.

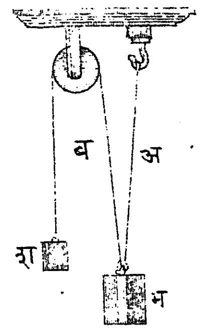
यंत्रांत कांहीं विशेष शिल्पलाभ प्राप्त व्हावा एतदर्थ चक्राची योजना केली आहे असें नाहीं तर पूण गुळगुळीतपणा आणि नम्रता याचें कार्य युक्त्यंतरेंकरून सिद्ध करावें एतदर्थ चक्र कामांत घेतलें आहे. परंतु पूर्ण नम्रता आणि गुळगुळीतपणा आहे असें पूर्वीं कल्पिलें असतां या यंत्राचा शास्त्रार्थाविषयीं चक्र घ्यावयाचें प्रयोजन नाहीं.

या प्रकारें जें चक्र उपयोगांत घेतात त्याला कपी ह्मणतात आणि त्याच यंत्राला आणि त्यांच्या नानाप्रकारच्या भेदोपभेदनांही कपी ह्मणतात. कितीक ग्रंथकार या प्रकारें उपयोगांत घेतलेल्या चक्रालाच यंत्राचे सर्व शिल्पगुण आहेत असें मानितात. आणि हें चक्र एक तरफ आहे असें मानून समतोलनाचें प्रमाण ठरविलें आहे. यद्यपि त्यांचीं फलें वस्तुतः पाहिलीं असतां खरीं आहेत तथापि त्यांचे असले हे विचार खोट्या मूलकारणावरून झाले आहेत असें वक्ष्यमाण ग्रंथावरून स्पष्ट होईल. तें असें. कप्यान योजितां नुसत्या दोऱ्या कडींतून शिरवून योजिल्या आहेत त्या पूर्ण नम्र असून घर्षणावांचून क्रिया करितात असें कल्पिलें असतां कपीचे सर्व गुण स्पष्ट होतील. याजवरून पूर्वीचें स्पष्ट आहे.

वक्ष्यमाण आकृतींत कप्यांचा दोऱ्या साधारण प्रमाणें चक्रांवर क्रिया करीत असतात असें सर्वदा दाखविलें आहे परंतु दोरीची काल्पनिक पूर्ण नम्रता आणि ताणाचा योगानें बल पोंचवायाची तिची पूर्ण शक्ति या दोहोंवरूनच कप्यांचा नियम स्थापिला जाईल.

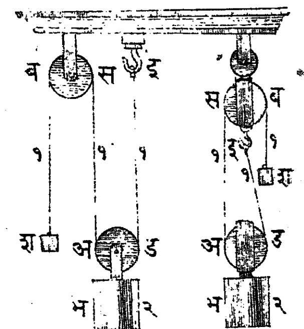
(७४) एकच नम्र दोरी आपल्या लांबीचा प्रत्येका भागावर एकसारिखा ताण सर्वदा सोसती अशा या एकल्या मूलकारणावरून कप्प्यांचा प्रत्येकारचनेचें शिल्पकतृत्व सिद्ध केलें जाईल. (९६) आकृति. या आकृतींत (भ) हा भार (अब) या दोरीनें धरिला असतां दोरीचे (अ) आणि (ब) हे भाग समतेने ताणिले जातील. तेणेकरून दोन्हीं आंकडे भाराला समतने उचलायास लागले आहेत. यास्तव (अ) आणि (ब) हे दोरीचे प्रत्येक भाग भाराचा अर्धाला उचलितात. या प्रकारांत दोरी कडींतून सरायास अगदी मोकळी आहे आणि (अ) (ब) हे भाग समांतर आहेत असें कल्पिलें आहे.

(आ. ९६)



(७५) कप्प्या बैठ्या आणि चालत्या अशा दोहों प्रकारच्या आहेत परंतु शक्ति आणि भार दोन्हीं समान आहेत यास्तव बैठ्या कपीला कांहीं शिल्पलाभ नाहीं. हें यंत्र (९५) आकृतींत दाखविलें आहे आणि प्रतिरोधाचा दिशेशीं शक्तीची दिशा अनुकूल करावयासाठीं हें यंत्र फार सोईचें साधन आहे. उदाहरण. या यंत्राचा योगानें शक्तीला खालचेकडे ओढिल्यानें भार वरचे कडे जातो आणि या साहजिक यंत्राचा योगानें कोणीएका दिशेंतला प्रतिरोध दुसऱ्या कोणत्याही दिशेंतल्या शक्तीनें रोधिला जातो असें पूर्वीं सांगीतलेंच आहे.

(आ. ९७)



(७६) एकेरी चालती कपी (९७) आकृतींत दाखविली आहे. तिला कधीं धांवणारी ह्मणतात या कपीयंत्रांत एकच दोरी (श) या शक्तीपासून (इ) या स्थिरबिंदूपर्यंत गेलेली आहे आणि त्या दोरीचा सगळ्या लांबींत एकसारिखा ताण आहे.

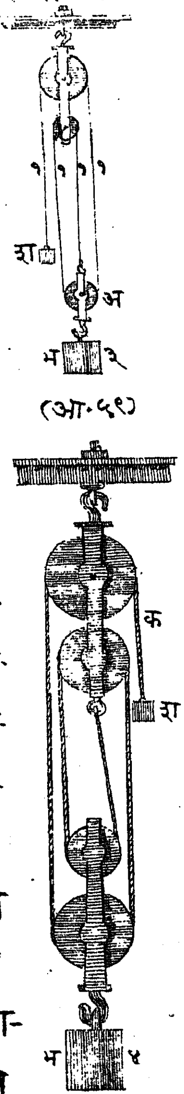
हा

हा ताण शक्तीशीं समान आहे हें स्पष्ट आहे. कारण दोरीचा जो (शब) हा भाग शक्ति आणि बैठी कपी यांचामध्ये आहे त्या भागांत शक्ति या ताणाने आधारिली आहे. (भ) हा भार दोरीचा (स अ) आणि (ड इ) या भागांनी उचलिला आहे यास्तव तो ताणाचा बेरीजेशीं समान आहे ह्मणजे दोरीचा ताणाचा द्विगुण आहे अथवा शक्तीचा द्विगुण आहे. यास्तव या यंत्राचेठायीं शक्ति आपल्यापेक्षां द्विगुण भाराला समतोलनांत धरायास समर्थ होती.

अद्यापि (अ) या कपीचा भार गणनेंत घेतला नाहीं. जर तो गणनेंत घेतला तर जो भार उचलावयाचा आहे त्या भाराशीं कपीचा भार मिळवून गणना करावी इतकें मात्र केलें पाहिजे. भार शक्तीपेक्षां त्रिगुण होई अशा युक्तीनेही एकेरी चालती कपी योजितां येती. ती योजना (५८) आकृतींत दाखविली आहे.

(आ. ५८)

(आ. ५९)



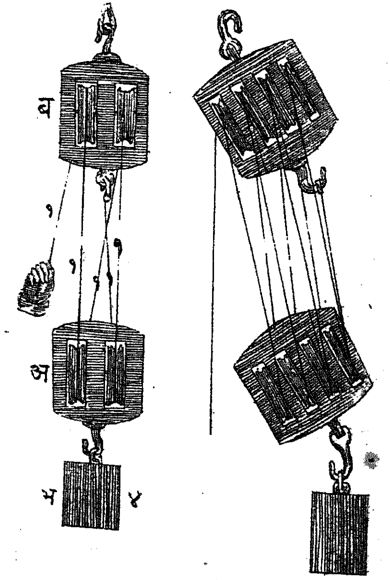
(७७) एकाच दोरीचा योगाने कामांत आणिलेल्या कप्यांचा रचना अनेक आहेत. त्या सर्वांमध्यें एक चालता ठोकळा असतो. त्या ठोकळ्याचा पोटांत चक्रें योजिलीं आहेत. त्या चक्रांवरून दोरी सोडून तिला भार योजीत असतात परंतु शिल्पकार्याची गणना करिती वेळेस तो चालता ठोकळा भाराचा एक भाग आहे असें मानिलें पाहिजे. एकच दोरी सर्व चक्रांवरून अनुक्रमाने साडिली आहे यास्तव तिचा प्रत्येका भागावर एकाच मानाचा ताण बसत असतो आणि तिचा (क) हा भाग शक्तीला धरीत असतो यास्तव हा ताण शक्तीशीं समान आहे असें (५९) आकृतींत स्पष्ट आहे. एथे भार शब्देकरून चालत्या ठोकळ्याचा भारासहित जो भार तो जाणावा. भार बैठा ठोकळा आणि भार यांच्यामध्यें जे दोरीचे भाग आहेत त्या प्रत्येका भागांवर समतने रहातो. या आकृतींत दोरीचा चोहों भागांवर भार समतेने वांटिला आहे. त्यांतले प्रत्येक भाग शक्तीचा बलाने

ने ताणिले आहेत यास्तव या प्रकारांत भार शक्तीपेक्षां चौपट आहे असें जाणावें.

सामान्यतः पाहिलें असतां जा कप्प्यांचा रचनांमध्यें एक दोरी आणि एक चालती कपी आहे त्याचेठायीं दोरीचे निर्निराळे जितके भाग चालत्या कपीला उचलीत असतात तितकेपट भार शक्तीपेक्षां अधिक आहे असें जाणावें. आतां चालती कपी आणि बैठीकपी या दोहोंचामध्यें दोरीचे जे भाग सोडिले आहेत ते प्रत्येक भाग भाराला समतेने उचलीत असतात असा विचार केला असतां पूर्वोक्त विषय फार स्पष्ट होतील.

(५९) आकृतींत जी रचना दाखविली आहे त्या रचनेमध्यें दोरीचे शेवट बैठ्या कपीला न जोडितां त्याच कपींतल्या एका तिसऱ्या चक्रावरून सोडून चालत्या कपीला जोडिली असतां भार शक्तीपेक्षां पांचपट उचलिला जाईल.

(आ. ६० . ६१)



(७८) या रचनांमध्यें चक्रें निर्निराळ्या आंसावर फिरत असतात. आणि तीं कधीं परस्परांचा बाजू परस्परांशीं न लागतां एकाच आंसावर फिरतीं योजीत असतात जशीं (६०) आकृतींत दाखविलीं आहेत. तथापि भाराशीं शक्तीचें प्रमाण सर्व रचनांचेठायीं एकच आहे.

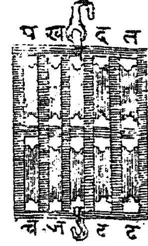
चक्रांचा या रचनेमध्यें दोऱ्यांला समांतर ठेवायास फार अवघड आहे. आणि शक्ति व भार याचा क्रियेने कप्प्या उलट्यासुलट्या ह्मणजे जशा (६१) आकृतींत दाखविल्या आहेत तशा होतात त्या न होऊं द्यायास फार अवघड आहे.

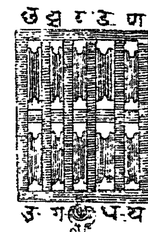
या कप्प्या उलट्यासुलट्या नव्हाव्या एतदर्थ एक युक्तीची असून पर-

म

म शक्तीची अशी रचना आहे. ती (६२) आकृतींत दाखविली आहे. या आकृतींत कांहीं भ्रांति नव्हावी ह्मणून दोरी वगळून नुसती आकृति काढिली आहे तथापि तिची योजना सहज दृष्टीस येती. वरचा कपीचा खालचा बाजूला जो आंकडा आहे त्याला दोरीचा एक शेवट जोडिला आहे असें कल्पावें. या आंकड्याचा बिंदूपासून दोरी (क) या चक्राचा खालीं नेऊन (ख) या चक्रावरून आणिली आहे. तशी (ग) या चक्राचे खालून नेऊन (घ) या चक्रावर आणि (ङ) याखालून (च) यावर नेऊन शेवटीं जोंपर्यंत (न) यावर नेली जाईल तोंपर्यंत आकृतींतल्या अक्षरांचा अनुक्रमाप्रमाणे पुढें नेऊन शक्तीशीं जोडिली आहे. या प्रकारांत शक्ति भाराचा नीट वर क्रिया करिती यास्तव (६१) आकृतीप्रमाणे कपीचा स्थितीमध्ये कांहीं उलटापालट होत नाहीं. एथें जी दोरी दाहा चक्रांवरून गेली आहे तिणे भार धरिला आहे यास्तव तो भार दोरीचा विसा भागांवर वांटिला आहे यास्तव तो शक्तीपेक्षां वीसपट आहे हें स्पष्ट आहे.

(आ. ६२)







(७९) असल्या जातीचा कप्यांचा रचनांचाठायीं अनेक मोठे दुर्गुण आहेत. ते असे. ज्या समयीं विशेष शक्तीचें प्रयोजन असतें त्या समयीं बहुत चक्रें योजावीं लागतात त्यामुळें घर्षणाचें मान फार वाढतें. आणि एथें प्रत्येका चक्रास केवल आपल्या आंसावरलें घर्षण मात्र आहे असें नाहीं तर ज्या ठेकुळ्यांत तीं फिरतात त्याचा बाजूचें घर्षणही त्यांला आहे. आणि हीं चक्रें आपल्या आंसावर निर्निराळ्या वेगांनी फिरतात यास्तव त्यांचा झीजेचीविषमता फार मोठी आहे. आतां (६२) आकृतींतली खालची कपी शक्तीचा क्रियेने वरचा कपीकडे एक फूट वर नेली आहे असें कल्पिलें असतां कप्यांचामध्ये दोरीचे जे अनेक भाग आहेत ते प्रत्येक एक एक फुट इतक्या लांबीने कमी होतील असें स्पष्ट आहे. यास्तव वरचा कपीचा आंकडयापासून दोरीचा

जो

जो भाग (क) या चक्रापर्यंत गेला आहे त्या भागाचा एक फुट इतका भाग त्याच चक्रासहवर्तमान लोटत जाईल असें स्पष्ट आहे. आणि एक फुट इतका भाग (ख) (ग) इत्यादि सर्व पुढल्या चक्रांसहवर्तमान लोटत जाईल. आणि दोरीचा जो भाग (क) या चक्रापासून (ख) या चक्रापर्यंत गेला आहे तोही एक फुट प्रमाणक मी होईल. यास्तव दोरीचा हाही एक फुट भाग (ख) आदिकरून जीं पुढील (ग) (घ) इत्यादि सर्व चक्रें आहेत त्यांवरून लोटत जाईल. यास्तव दोरीचा एक फुट भाग (क) या चक्रावरून जातो आणि दोन फुटी भाग (ख) यावरून जातो. या प्रकारें हा विचार पुढें एकोत्तर वृद्धीने चालला असतां दोरीचा तीन फुटी भाग (ग) या चक्रावरून जातो (घ) यावरून चार फुटी भाग जातो अशा क्रमाने पुढेंही जातात असें स्पष्ट आहे. आतां चक्राचे व्यास एका लांबीचे असतां जा वेगांनी तीं चक्रें फिरतात ते वेग एकाच कालांत त्या चक्रांसहवर्तमान लोटत जाणारी जी दोरी तिचा मानांनी माजिले जातील. या विचारावरून असें सिद्ध होतें ह्मणजे (क) हें चक्र जा कालीं एक फेरा खातें त्याच कालीं पुढलीं (ख ग घ) इत्यादि चक्रें एकोत्तर वृद्धीने फेरे खातात ह्मणजे (ख) दोन (ग) तीन (घ) चार फेरे खातात असें जाणावें. या कारणाने झीजेची जी विषमता वर सांगितली ती उत्पन्न होती.

हीं सर्व चक्रें एकाच आंसावर योजून एका वेगाने फिरत असें करून उक्त दुर्गुण दूर करावयास यत्न केला असतां घर्षण आणि झीज यांचें इतर एक कारण पूर्वोक्ताहूनही फार मोठें उत्पन्न होईल. तें असें. जा कालीं तीं सर्व चक्रें एका वेगाने फिरतात त्या कालीं ती दोरी सर्व चक्रांवर निर्निराळ्या वेगांनी लोटत जाती यास्तव ती दोरी एक चक्र वगळून इतर सर्व चक्रांचा खंचण्यांवर न्यूनाधिक घांसून किंवा सरकून अगत्य जाईल.

झीजेची विषमता दूर व्हावयासाठीं सर्व चक्रें आपआपल्या आंसावर एकाच कालांत फिरावीं आणि त्या चक्रांवरून लोटत जाणाऱ्या दोरीचे वेग जसे

से निर्निराळे असतील तसे तसे चक्रांचा घरांचे वेग निर्निराळे होऊन वेगांशीं समान करावे. या प्रकारच्या कप्प्यांचा निर्माणप्रकारामध्ये हा एक मोठा उद्देश आहे.

(८०) जेमस् वेट साहेबाने जी कपी उत्पन्न केली तिला हे सर्व गुण आहेत. त्या साहेबाने तीं उत्तरोत्तर सर्व चक्रें एकाच कालांत फिरायासाठीं निर्निराळ्या मानांचीं केलीं आहेत. ह्मणजे एका कालांत प्रत्येका चक्रावर दोरीचा जितका जितका भाग आतो तितक्या तितक्या भागाशीं त्या त्या चक्रांचे घेर समान होत अशा युक्तीने केले आहेत. हें सर्व (६२) आकृतींत स्पष्ट आहे. उदाहरण. (क) या चक्राचा घेर एक फुट कल्पून खालची कपी वरचा कपीकडे एक फुट वर नेली असतां तितक्या कालांत (क) हें चक्र एक फेरा खातें आणी तितक्याच कालांत (ग) या चक्राचा घेरावरून तीन फुटी दोरी लोटली जाती यास्तव या चक्राचा घेर तीन फुटी असला तरच तें चक्र त्या कपीचा वर चढण्यांत एक फेरा खाईल. तसा (ङ) या चक्राचा घेर पांच फुटी असला तर तेंही तितक्या कालांत एक फेरा खाईल. यावरून त्या चक्रांचे घेर (१, ३, ५,) इत्यादि संख्यांचा प्रमाणांत असले तर तीं चक्रें एका कालांत फिरतील असें सामान्यतः सिद्ध होतें. आणि जर वरचा ठोकळ्यांतल्या चक्रांचे घेर (२, ४, ६,) इत्यादि संख्यांचा प्रमाणांत असले ह्मणजे (१, २, ३,) इत्यादि उत्तरोत्तर संख्यांचा प्रमाणांत असले तर तीं चक्रें परस्परांशीं आणि खालचा ठोकळ्यांतल्या चक्रांशीं समान कालांत फिरतील असेंही उक्तप्रकारें सिद्ध होतें.

चक्रांचे घेर आपल्या व्यासांचा प्रमाणांत असतात यास्तव (क ख ग घ) इत्यादि चक्रें (१, २, ३,) इत्यादि उत्तरोत्तर संख्यांचा प्रमाणाचा व्यासांनी केलीं असतां झीजेची समता होईल.

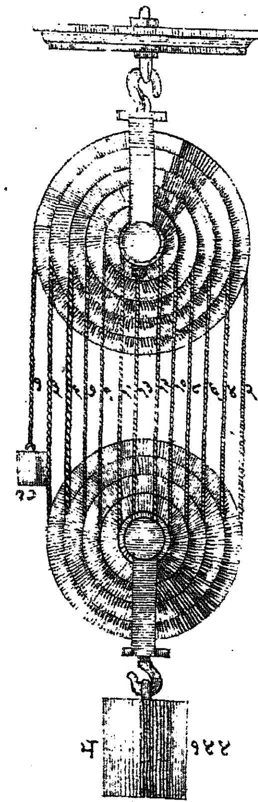
अद्यापि निर्निराळ्या चक्रांचें वाढलेलें घर्षण रहातें ह्मणजे त्या चक्रांचा आंसांवरचें घर्षण आणि ठोकळ्यांतल्या बाजूंशीं त्यांचा पृष्ठांचें घर्षण रहातें. हा दुर्गुण दूर करावयासाठीं ठोकळ्यांतल्या सर्व चक्रांचें एकच चक्र करा-

वें

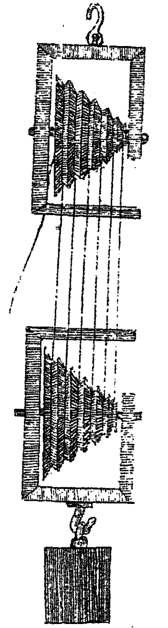
वें अशी कल्पना वैट्साहेबाचा मनांत आली ह्मणजे निर्निराळीं चकें नघेतां शंक्काकार एकच चक्र घेऊन त्या चक्रांवर पूर्वोक्त निर्निराळ्या व्यासांचे घेर करून त्या घेरांवर खंचण्या कराव्या. असें केलें असतां सर्व घर्षण चुकून केवळ आंसांवरचें आणि चकाचा एकाच बाजूवरचें इतकें मात्र घर्षण शेष राहील.

या कप्या (६३) आणि (६४) या आकृतींत दाखविल्या आहेत. आणि पूर्वोक्तावरून त्या सहज ज्ञात होतील. इतर सर्व रचनांमध्यें ह्मणजे जथे एकच दोरी आहे तेथे जसें असतें तसें एथेही दोरीचे जितके भाग खालचा कपीला उचलितात तितकेपट भार शक्तीपेक्षां अधिक असतो.

(आ· ६३)



(आ· ६४)



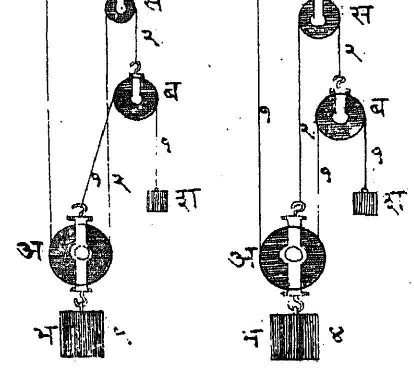
(८१) असल्या सर्व रचनांमध्ये समतोलनाचें प्रमाण शिक्षामालेचा रीतीप्रमाणे असें दाखविलें जाईल ह्मणजे·

भ = नश

एथे दोरीचे जितके भाग खालचा कपीला उचलितात ते भाग (न) याणे दाखविले आहेत. आणि (भ) याणे जितका भार उचलिला आहे तो भार आणि खालचा ठोकळ्याचा भार हे दोन्हीं दाखविले आहेत.

(८२) ज्या कप्यांचा रचनांमध्यें एकच दोरी असती त्यांतल्या कांहीं मुख्य रचना दाखविल्या तथापि दोऱ्या अधिक योजिल्या असतां विशेष शा-

क्ति



(६९) आकृतींत जी रचना दाखविली आहे तींत (श ब) या दोरीचा ताण शक्तीशीं समान आहे आणि ही दोरी जी कपी भाराला उचलिती तिला जोडिली आहे यास्तव भाराचा जो भाग शक्तीशीं समान आहे तितक्याला ती दोरी उचलिती. दोरीचा जो भाग (स) यापासून (ब) या पर्यंत आहे तो (ब) यापासून शक्ति आणि भार यापर्यंत जे दोरीचे दोन भाग आहेत त्या दोहोंचा एकवटलेल्या ताणाला उचलून धरितो यास्तव त्याचा ताण शक्तीचा द्विगुण आहे. आणि दोरीचा तो भाग जी कपी भाराला उचलिती तिचा खालचे आंगून वर नेऊन शेवटीं एका स्थिरबिंदूला जोडिला आहे यास्तव दोरीचा तो भाग भाराचा जो भाग शक्तीचा चौपट आहे तितक्याला उचलितो. सारांश. सर्व भार शक्तीचा पांचपट आहे. शक्ति एक आहे असें मानिलें असतां जो अंक एका एका दोरीवर लिहिला आहे तो अंक त्या त्या दोरीने भाराचा जो जो अंश उचलिला आहे त्याला दाखवितो.

जी रचना (६६) आकृतींत दाखविली आहे तींतही दोन दोऱ्या आहेत परंतु (६९) आकृतींतल्या शक्तीपेक्षां एथे शक्ति कमी प्राप्त होती. एथे शक्तीपासून स्थिरबिंदूपर्यंत जी दोरी गेली आहे तिचा ताण शक्तीशीं समान आहे आणि जी दोरी (ब) या कपीपासून भारापर्यंत गेली आहे तिचा ताण शक्तीचा दुप्पट आहे. सारांश. सर्व भार शक्तीचा चौपट आहे. एथेही दोरीवर अंक लिहून त्या अंकांनी ताण दाखविले आहेत.

या



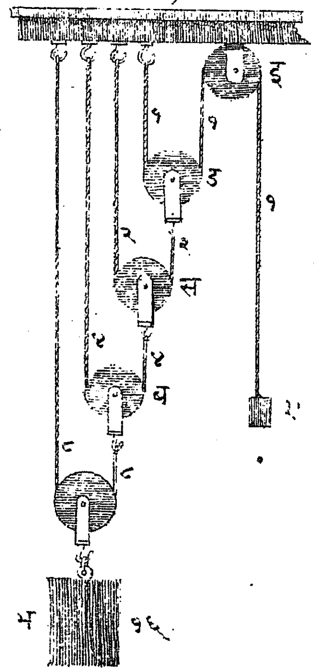


या दोहों रचनांमध्ये (ब) या कपीचा भार शक्तीला साहाय्यता देतो आणि (अ) या कपीचा भार प्रतिरोधाला साहाय्यता करितो. (६५) आकृतींत जी रचना दाखविली आहे तींत जर (ब) या कपीचा भार (अ) याचा भाराचा अर्ध असला तर त्या दोहों कप्यांचे भार परस्परांशीं समतोलन उत्पन्न करितील. आणि (ब) याचा भार (अ) याचा भाराचा अर्धापेक्षां अधिक असला तर शक्तीला साहाय्यता प्राप्त होईल. आणि भाराचा पंचमांशापेक्षां लहान शक्ति समतोलन उत्पन्न करील. आणि (ब) याचा भार (अ) याचा भाराचा अर्धापेक्षां कमी असला तर हें कार्य विपरीत घडेल.

(६६) आकृतींत जी रचना दाखविली तींत (ब) याचा भार (अ) याचा भाराशीं समान असला तर त्याला समतोलनांत धरील आणि अधिक किंवा उणा असला तर शक्तीला साहाय्यता किंवा प्रतिरोध करील.

(८३) (६७) आकृतींत कप्यांची एक रचना दाखविली आहे. तींतचार दोऱ्या आहेत आणि भार शक्तीचा सोळापट उचलिला जातो. तो असा. (ड इ) या दोरीचा ताण शक्तीला धरीत असतो यास्तव शक्तीशीं समान आहे. आणि आणि (ड) ही चालती कपी आहे यास्तव जो भार शक्तीचा दुप्पट आहे त्याला समतोलनांत ठेविती. आणि हा भार (ड स) या दुसऱ्या दोरीचा ताण आहे यास्तव दुसऱ्या दोरीचा ताण पहिल्या दोरीचा ताणाचा दुप्पट आहे. या प्रकारें तिसऱ्या दोरीचा ताण दुसऱ्या दोरीचा ताणाचा दुप्पट आहे. असें पुढेंही जाणावें. सारांश. भार शेवटल्या दोरीचा ताणाचा दुप्पट आहे. आतां प्रकृत विचाराप्रमाणे चार दोऱ्या असल्या तर पहिलीचा ताण (श) दुसरीचा (२श) तिसरीचा (२×२श) ह्मणजे (४श)

(आ· ६७)



तसें तिचें कार्य दुप्पट दुप्पट होत जाईल असें स्पष्ट आहे. ...
चा रीतीप्रमाणें समतोलनाचें प्रमाण दाखविलें असतां असें आहे ह्मणजे

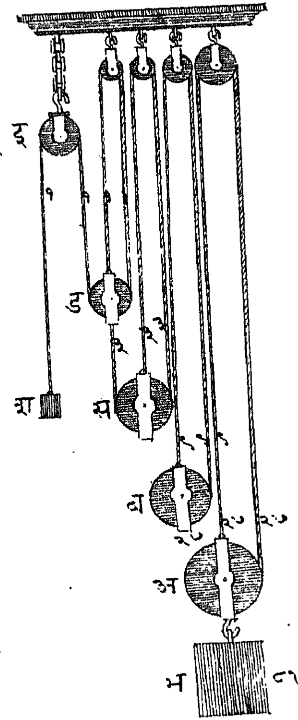
$$(भ = २^{न} श)$$

एथे दोरीचा संख्यांला (न) दाखवितो.

या प्रकारांत कप्यांचा स्वभार वगळिला आहे परंतु तो शक्तीशीं विरुद्ध क्रिया करितो असें स्पष्ट आहे यास्तव कप्यांवर भार नसतांही त्यांला उचलून धरायास कांहीं शक्ति पाहिजे.

(८४) या रचनेचाठायीं दोऱ्या अधिक केल्यावांचून जा आंकड्यांशीं दोऱ्या योजिल्या आहेत त्या आंकड्यांचा स्थानीं बैठ्या कप्या योजिल्यानेही शक्ति फार वाढवितां येती. तो प्रकार (६८) आकृतींत एकेऱ्या चालत्या कपीचेठायीं दाखविला आहे आणि अशा कप्यांचा परंपरा (६८) आकृतींत दाखविला आहे. (६८) आकृतीप्रमाणे एथे दुसऱ्या दोरीचा ताण पहिल्या दोरीचा ताणाचा तिप्पट आहे आणि पहिल्या दोरीचा हा ताण शक्तीशीं समान आहे असें फलित होतें. आणि तिसरीचा ताण दुसरीचा ताणाचा तिप्पट आहे ह्मणजे पहिलीचाताणाचा नऊपट आहे. असें पुढेंही जाणावें. आणि भार शेवटल्या दोरीचा ताणाचा तिप्पटआहे.

(आ. ६८)



या प्रकृत उदाहरणांत चार दोऱ्या मात्र आहेत आणि भार शक्तीचा एक्याऐंशीपट आहे. असल्या रचनेमध्ये शक्ति आणि भार यांचा संबंध शिक्षामालेचा रीतीने

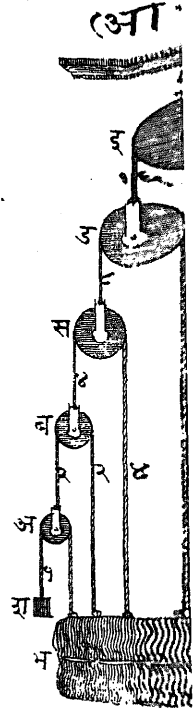
तीने असा दाखविला जाईल ह्मणजे:

$$(भ = ३^{न} श)$$

एथे दोरीचा संख्यांला (न) दाखविती.

या प्रकारांतही कप्यांचा स्वभावाचें कार्य शक्तीशीं विरुद्ध अ-
तें यंत्राचें कर्तृत्वापासून कांहीं अंश घेतें.

(८५) एक शक्तियुक्त रचना (६९) आकृतींत दाखविली आहे
नेंत प्रत्येका दोरीचा शेवट भाराशीं जोडिला आहे. भारा-
चा जो भाग शक्तीशीं समान आहे त्याला पहिली दोरी
उचलिती. दुसऱ्या दोरीचा ताण पहिलीचा ताणाचा दुप्प-
ट आहे यास्तव भाराचा जो भाग शक्तीचा दुप्पट आहे त्या
ला समतोलनांत धरिती. या प्रकारें तिसरी दोरी भाराचा
जो भाग शक्तीचा चौपट आहे त्याला धरिती. आणि अ-
सें पुढेंही आणावें. जा भागाला प्रत्येक दोरी उचलिती तो
तिचा मागल्या दोरीने जो भाग उचलिला त्याचा दुप्पट
असतो.



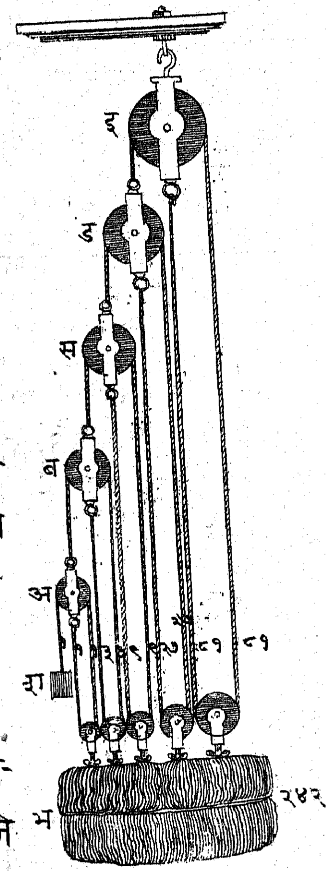
या प्रकारांत भार सर्व दोऱ्यांचा ताणांचा बेरीजे-
शीं समान आहे. आणि (६९) आकृतींत जें उदाहरण दाख-
विलें त्यांत भार शक्तीचा एकतीसपट आहे.

शक्ति आणि भार यांचा संबंधाचा साधारण विचार शिक्षा
रीतीने एथे दाखवावयास अवघड नाहीं. जा अनेक दोऱ्यांनी भा र
ला असतो त्यांचे ताण (श, २श, २²श, २³श) इत्यादि आहेत. आ
(न) दोऱ्यांची संख्या दाखविती तर शेवटल्या दोरीचा ताण (२
सा आहे. यापासून असें सिद्ध होतें ह्मणजे

$$(भ = श \times (१ + २ + २^{२} + २^{३} \ldots\ldots २^{न-१})$$

वरून सोडून खालच्या कपीखालून नेऊन पुनः त्यावरच्या कपीला शेवटीं जोडिली असतां दोऱ्या अधिक केल्यावांचून (६९) रचनेला फार अधिक शक्तियुक्त करितां येईल. शक्ति एका अंकाने दाखविली असतां जे अंक त्या अनेका दोऱ्यांवर लिहिले आहेत ते अंक भाराचा जा जा भागाला दोऱ्या उचलितात त्यांला दाखवितात. या रचनेमध्ये भार शक्तीपेक्षां (२४२) पट आहे.

(आ. ७०)



शक्ति आणि भार यांचा संबंधाचा विचार शिक्षामालेच्या जो साधारण विचार (८५) कलमांत केला आहे त्या सारिखा आहे. उत्तरोत्तर दोऱ्यांनी भाराचे जे भाग उचलिले आहेत ते (२श, ६श, १८श, ५४श,) इत्यादि आहेत. दोऱ्यांची संख्या (न) आहे यास्तव शेवटल्या दोरीने जो भाग उचलिला आहे तो $(२\times३^{न-१}.श)$ असा आहे. यापासून असें सिद्ध होतें ह्मणजे

$$(भ=२श.(१+३+३^२+३^३+\cdots३^{न-१})$$

त्या वक्ररेषांमधल्या ह्मणजे सांखळीमधल्या या गुणोत्तर श्रेणीचें सर्वधन केलें असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे

$$(भ=(३^न-१).श).$$

(८७) एथे कप्यांचा जा अनेक रचना वर्णिल्या त्या अनुभवामध्ये फार करून उपयोगांत घेतल्या आहेत असें अभ्यास करणारास ज्ञात व्हावें असें जाणून त्या रचना दाखविल्या नाहींत तर असल्या यंत्रांचा योजनेचा अभ्यास व्हावयासाठीं

वीं आणि जा साधारण मूलकारणांवरून कप्यांचें शिल्पकर्तृत्व शोधिलें आहे तीं मूलकारणें स्मरणांत चांगलीं यावयासाठीं दाखविल्या आहेत.

इतर सर्व यंत्रांसारिखी कपीही गुणवद्वेगाचे बीजाचा सत्तेंत आहे ह्मणजे शक्तीपेक्षां भार जितका मोठा असेल तितकेपट शक्तीचा उतरण्याचा समकालांत भाराचें चढणें शक्तीचा उतरण्यापेक्षां कमी आहे.

(९७) आकृतींत दाखविलेल्या एकेज्या चालत्या कपींत शक्ति दोन फुटीप्रदेशांतून खालीं आली असतां (स अ ड इ) या दोरीचा दोन फुटी भाग (बस) या बैठ्या कपीवरून आईल. यास्तव दोरीचा तो भाग दोन फुटी कमी केला जाईल यास्तव (स अ) आणि (ड इ) हे प्रत्येक भाग एक एक फुट कमी केले जातील. सारांश. जितक्या कालांत शक्ति दोन फुटी प्रदेशांतून खालीं येती तितक्या कालांत भार एक फुट वर जातो. ह्मणजे शक्तीचा वेग भाराचा वेगाचा दुप्पट आहे. आणि (७६) कलमावरून भार शक्तीचा दुप्पट आहे असें स्पष्ट आहे.

याच प्रकारें (९८) आकृतींत जितक्या कालांत शक्ति तीन फुटी प्रदेशांतून खालीं येती तितक्या कालांत जी दोरी बैठ्या कपीपासून निघून भाराला उचलणाऱ्या कपीपर्यंत गेली आहे ती तीन फुटी कमी होती. यास्तव तिचेजे तीन भाग भाराला उचलितात ते प्रत्येक एक एक फुट कमी होतात. यापासून शक्तीचा वेग भाराचा वेगाचा तिप्पट आहे असें स्पष्ट होतें. आणि (७६) कलमांत भार शक्तीचा तिप्पट आहे असें दाखविलें होतें.

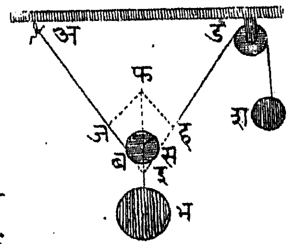
सामान्यतः जा सर्व कप्यांचा रचनांमध्ये एकच दोरी असती त्यांत जा प्रदेशांतून शक्ति खालीं येती तो प्रदेश जी दोरी शक्तीचा जवळचा कपीपासून आपल्या शेवटापर्यंत गली आहे ती जा लांबीने कमी झाली असती त्या लांबीशीं समान आहे. आणि ही लांबी दोरीचे जे सर्व भाग भाराला उचलितात त्यामध्ये समतेने वांटिली असती यास्तव ते प्रत्येक भाग दोरीचे जितके भाग भाराला उचलितात तितकेपट शक्तीचा उतरण्याचा मानापेक्षां जें मान कमी आहे

हेत्या मानानें कमी होतील. आणि या भागांची संख्या शक्तीशीं जें भाराचें प्रमाण आहे त्याला दाखविती.

(५९) (६०) (६३) इत्यादि आकृतींतल्या रचनांविषयीं असाच नियम सहज दाखवितां येईल. आतां इतर सर्व रचनांविषयीं हा विचार पुढें चालविणार नाहीं. कारण. पूर्वोक्त विचाराप्रमाणे विचार केला असतां हा नियम सर्वांवर लागतो असें अभ्यास करणाराला समजायास कांहीं अवघड पडणार नाहीं. आणि सामान्यतः जसें जसें मोठें शिल्पकर्तृत्व प्राप्त होतें ह्मणजे फार लहान्या शक्तीनें फार मोठे भार उचलितां येतात तसा तसा जितका लाभ बलांमध्यें प्राप्त होतो तितकाच तोटा सर्वदां वेगामध्यें होतो.

(८९) जा दोऱ्यांनी कप्या उचलिल्या त्या सर्व दोऱ्या ऊर्ध्वाधर दिशेंत आहेत असें एथपर्यंत कल्पिलें परंतु त्या दोऱ्या ऊर्ध्वाधर दिशेंत नसल्यातर जे सर्व सिद्धांत प्राप्त झाले आहेत ते उपयुक्त होणार नाहींत. आतां (७१) आकृतींत जा दोरीचे भाग समांतर नाहींत त्या दोरीचा ताणाने शक्ति भाराला उचलिती असें दाखविलें आहे. एथे जा ऊर्ध्वाधर रेषेंत भाराचा गुरुत्वमध्य आहे ती रेषा (फइ) आहे. आणि (फ) यापासून (फज) आणि (फह) या रेषा (डस) आणि (अब) या रेषांशीं समांतर काढाव्या. आतां (इ) या बिंदूचेठायीं जीं तीन बलें समतोलनांत आहेत तीं

(आ. ७१)



क्रिया करितात असें ज्ञात होईल ह्मणजे (इह) आणि (इज) या दिशांतले ताण (आणि (भ) हा भार हे क्रिया करितात असें जाणावें. यास्तव पहिल्या निबंधाचा (९) कलमाप्रमाणें हीं बलें (इह) (इज) आणि (इफ) या रेषांनी दाखविलीं जातील. आणि दोरीचा प्रत्येका भागावरचा ताण (श) या शक्तीशीं समान असून एकसारिखा आहे यास्तव त्या समांतररेषचौकोनाच्या (इह) आणि (इज) या बाजू समान आहेत. ह्मणजे (इफ) हा कर्ण (जइह) या कोनाचे

नाचे दोन समान भाग करितो. यापासून जा स्थितींत दोरीचे (अब) आणि (डस) हे भाग ऊर्ध्वाधर रेषेपासून समतेने तिरकस होऊन रहातात त्या स्थितींत तो भार सर्वदां स्थिरावेल असें फलित होतें. आणि (इह) यास (इफ) याचें जसें प्रमाण आहे तसें शक्तीशीं या भाराचें प्रमाण होईल.

जांला त्रिकोणमितीची माहीत आहे त्यांला जेथे टांगण्याचा दोरीचेभाग तिरकस आहेत तेथल्या (अइड) या कोनाला जर (ई) ह्मटला तर असें प्राप्त होतें ह्मणजे

(इफ : इह :: भु॰ज्या (ह) : भु॰ज्या ($\frac{1}{2}$ ई) आणि (ह = २ भु॰ज्या ($\frac{1}{2}$ ई) × को भु॰ ज्या ($\frac{1}{2}$ ई) असें आहे यास्तव

(इफ : इह :: २ भु॰ज्या ($\frac{1}{2}$ ई) × को भु॰ज्या ($\frac{1}{2}$ ई) : भु॰ज्या ($\frac{1}{2}$ ई) असें प्राप्त होतें ह्मणजे

इफ : इह :: २ को भु॰ज्या ($\frac{1}{2}$ ई) : १ ह्मणजे

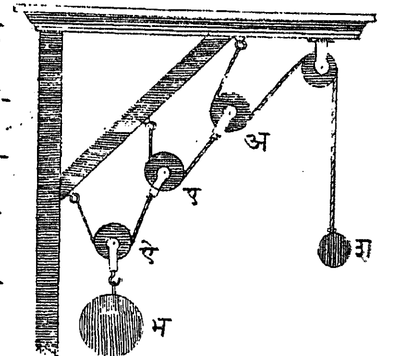
भ : श :: २को भु॰ज्या ($\frac{1}{2}$ ई) : १ ह्मणजे

भ = २ श × को भु॰ज्या ($\frac{1}{2}$ ई) ह्मणजे

शक्तीची दुपटी दोऱ्यांनी झालेल्या कोनाच्या अर्धाचा कोभुजज्याने गुणिली असतां तो गुणाकार भाराशीं समान आहे.

(८९) कप्यांची रचना कशीही असो तथापि याच प्रकारें दोऱ्याचा तिरकसपण्याचें कार्य शोधितां येईल. जा कप्यांचा रचनेचें वर्णन (८३) कलमांत केलें आहे तसल्या कप्यांची रचना दोऱ्या तिरकस योजून (७२) आकृतींत दाखविली आहे. एथे (श अ) या पहिल्या दोरीचा ताण शक्तीशीं समान आहे. दुसऱ्या दोरीचा ताणाला (ट) ह्मणावा. आतां (८८) कलमावरून असें प्राप्त होतें ह्मणजे

(आ. ७२)



ट = २ श × को भु॰ज्या ($\frac{1}{2}$ अ).

आणि याच प्रकारें असें सिद्ध होतें ह्मणजे

भ=२टे × को भु० ज्या (१/२ ऐ)

हीं तिन्हीं समिकरणें परस्परांनी गुणिलीं असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे
भ×टे×ट=८श.टे.ट × को भु०ज्या (१/२ ऐ). को भु०ज्या (१/२ ए). को भु०ज्या (१/२ अ).
यांतले जे साधारण (ट.टे) हे गुणाकार आहेत ते वर्जिले असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे.

भ=८श × को भु०ज्या (१/२ ए) × को भु०ज्या (१/२ ऐ) × को भु०ज्या (१/२ अ).

कोणत्याही प्रकारांत दोऱ्या तिरकस असतात त्यांतही पूर्वोक्तासारिखा विचार करितां येईल असें जाणावयास अवघड नाहीं.

(९०) कप्प्यांचे ठायीं शक्तीचा तोटा व्हावयास घर्षण सर्वदां एक मोठें कारण आहे. तें गार्नेट् साहेबाचा एका चांगल्या युक्तीचें जें साधन आहे आणि ज्याला घर्षणलाट्ये ह्मणतात त्या साधनाने फारकरून दूर केलें आहे. त्या युक्तीने केवळ खर्च आणि उद्योग हेच मात्र कमी होतात असें नाहीं तर यंत्राची झीजही फार कमी होती. त्या युक्तीचा प्रकार असा आहे ह्मणजे ज्या आंसावर चक्र फिरतें तो आंस आणि ज्या पोकळ सिलिंडरांत ह्मणजे डबींत तो आंस असतो ती डबी या दोहोंचेमध्ये समान असून परस्परांशीं जवळ फिरणारे असे भरींव लाट्ये योजावयास कांहीं अंतर राखिलें आहे. या लाट्यांला दोहोंकडे कील आहेत ते कील पेटीचा बाजूंला जीं वलयें बसविलीं आहेत त्या वलयांचा कांठावर छिद्रें केलीं आहेत त्यांत शिरविले आहेत. तशा छिद्रांचा योगाने ते लाट्ये परस्परांपासून योग्य अंतराने रहातात. आणि त्या वलयां-

-चा

चा दोहों दोहों छिद्रांचामध्ये गज मारून तीं वलयें समोरासमोर खिळलीं आहेत. त्यामुळें तीं वलयें समांतर रहातात.

भाग ९

उतरणीविषयीं

(९१) उतरण एक यंत्र आहे. तें समान असून पूर्ण कठिन आणि अनम्र अशा कल्पित पृष्ठाचें आहे. आणि भार ह्मणजे प्रतिरोध दूर करावयाचा असतां त्याशीं हें यंत्र तिरकस स्थितींत योजीत असतात. याचा आकार उतरण या नामावरून स्पष्ट आहे.

(आ. ७३)

(७३) आकृति. या आकृतींत (लह) ही एकसमान रेषा आहे. आणि जी सपाटी पूर्ण कठिन आणि गुळगुळीत असून समान सपाटीशीं (हलम) हा कोन करिती ती (लम) अशी आहे. त्या कोनाला सपाटीचें उच्च ह्मणतात. (लम) या रेषेला तिची लांबी किंवा कर्ण ह्मणतात. (मह) याला लंबोच्च किंवा कोटि ह्मणतात. आणि (लह) याला तिचें तल किंवा भुज ह्मणतात.

या उतरणीवर ठेविलेला (अ) हा पदार्थ आहे. तो (अस) अशा दिशेंत शक्तीने धरिला आहे. (अ) हा पदार्थ आपल्या गुरुत्वमध्यावर क्रिया करणाऱ्या अशा तीन बलांनी स्थिर ठेविला आहे. तीं बलें अशीं आहेत ह्मणजे पदार्थाचें (भ) हें गुरुत्वबल (अभ) या ऊर्ध्वाधर दिशेंत क्रिया करितें तें पहिलें. आणि जी (श) ही शक्ति (अस) या दिशेंत क्रिया करिती ती दुसरें. आणि जो (रो) हा प्रतिरोध सपाटीवरच्या (अब) या लंब दिशेंत आहे तो तिसरें बल आहे. आतां (अभ) या दिशेंतला (भ) हा भार (अस) आणि (अब) या दिशांतल्या

(श) आणि (शे) या बलांला रोधितो यास्तव तो भार या बलांचा फलमानाशीं समान असून समोरच्या दिशेंत आहे. याचा विचार पहिल्या निबंधाचा दुसऱ्या भागांत केला आहे. आतां (अभ) या दिशेंत नीट वर (अड) ही रेषा गेली आहे असें कल्पावें. आणि (ड) असल्या बिंदूपासून (डस) आणि (डब) यारेषा (अब) आणि (अस) यांशीं अनुक्रमे समांतर काढिल्या असतां भार शक्ति आणि उतरणीचा प्रतिरोध हे तीन (अड) (अस) आणि (अब) या रेषांशीं प्रमाणांत आहेत असें फलित होतें. हें परीक्षेवरून सहज ज्ञात होईल. जी ऊर्ध्वाधर सपाटी शक्ति आणि भार यांचे मागे आहे तिवर (अड) हीऊर्ध्वाधर रेषा काढावी आणि तींतल्या कोणी एका (ड) अशा बिंदूपासून (लम) या उतरणीवरचा लंबदिशेंत (डस) ही रेषा काढावी. (अड) आणि (अस) या रेषा मोजिल्या असतां जें प्रमाण (भ) हा भार आणि (श) ही शक्ति या उभयतांचें आहे तसें प्रमाण त्या रेषांचें आहे असें ज्ञात होईल. याच प्रकारें परीक्षेने प्रतिरोधाचें मान किती आहे तें ज्ञात होईल. पदार्थाला एक दोरी जोडून ती दोरी उतरणीचा लंब दिशेंत एका बैठ्या कपीवरून न्यावी. नंतर जें प्रमाण (अब) किंवा (डस) ही रेषा (अड) आणि (अस) या रेषांशीं ठेविती तसें प्रमाण जो भार (भ) आणि (श) यांशीं ठेवितो तो (शे) असा भार त्या दोरीवरयोजावा. आतां उतरण काढिली असतांही (अ) हा पदार्थ आपल्या पूर्वीचाच स्थितींत टांगून धरिला राहील. असें दृष्टीस पडेल. यापासून (अस)या दोरीचा ताण ह्मणजे (शे) या भाराशीं जें बल समान आहे तें उतरण काढून तिचा जागीं त्या ताणाची ह्मणजे त्या बलाची क्रिया होत असतां तसेंच शिल्पकार्य उत्पन्न होईल असें दिसतें. यास्तव उतरणीवर पदार्थाचें जें चेपण होतें त्याचेंमान (शे) हें बल आहे.

सर्व समकोणत्रिकोणांचा बाजू आपापल्याशीं प्रमाणांत असतात यास्तव जा कोणी एका त्रिकोणाची एक बाजू ऊर्ध्वाधर आहे दुसरी बाजू उतरणीवर

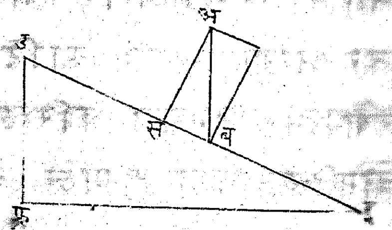
र लंब आहे आणि तिसरी बाजू शक्तीचा दिशेंत आहे अशा एका त्रिकोणाचा को-
नांशीं ज्या त्रिकोणाचे कोन समान आहेत असें त्रिकोण केलें असतां त्या त्रिकोणाच्या
बाजू सर्वदां शक्ति भार आणि उतरणीवरचें चेपण या तिहींचे प्रमाणांत होतील.
शक्ति भार आणि चेपण यांचें हें प्रमाण शिक्षामालेचा रीतीने फार सहज दाख-
वितां येईल.

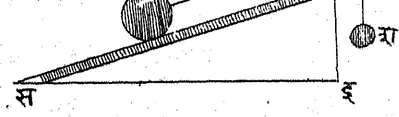
(७३) आकृति.या आकृतींत (अड) ही ऊर्ध्वाधर रेषा आणि उतरणीव-
रची (अब) ही लंबरेषा यांणी झालेला जो कोन त्याला (ए) ह्मणावा. आणि (अ-
ड) ही ऊर्ध्वाधर रेषा आणि (अस) ही शक्तीची दिशा या दोहों रेषांनी जो (बड
अ) हा कोन झालेला आहे त्याला (ट) ह्मणावा. आणि शक्तीची (अस) ही दिशा
आणि उतरणीची लंब रेषा यांचा (डबअ) या कोनाला (बी) ह्मणावा. त्रिकोणा-
चा बाजू आपापल्या समोरचा कोनाचा प्रमाणांत असतात यास्तव असें नि-
श्चित होतें ह्मणजे

$$\frac{\text{श}}{\text{भ}} = \frac{\text{भु·ज्या (ए)}}{\text{भु·ज्या (बी)}}, \quad \frac{\text{चे}}{\text{भ}} = \frac{\text{भु·ज्या (ट)}}{\text{भु·ज्या (बी)}}$$

(९२) शक्ति भार आणि चेपण यांचा प्रमाणाचा पूर्वोक्त विचारामध्ये श-
क्ति कोणत्याही एका दिशेंत क्रिया करिती असें क-
ल्पिलें आहे. आतां जर ती उतरणीचा दिशेंत कि-
या करिती तर ज्या त्रिकोणाचा बाजू भाराशीं श-
क्तीचें प्रमाण ठरवितात तें त्रिकोण (७४) आकृतीं-
त दाखविल्या प्रमाणे (अबस) असें आहे. यांत
(बस) शक्तीची दिशा आहे (अब) भाराची आणि
(अस) चेपणाची दिशा आहे. हें त्रिकोण जें (फडइ) हें त्रिकोण उतरणीचा क-
र्ण भुज आणि कोटि यांणी झालें आहे त्याशीं तुल्य आहे. यास्तव या प्रकारांत
उतरणीची (डफ) ही कोटि शक्तीला दाखविती आणि तिचा कर्ण भाराला आ-
णि तिचा भुज चेपणाला दाखविती.

(आ· ७४





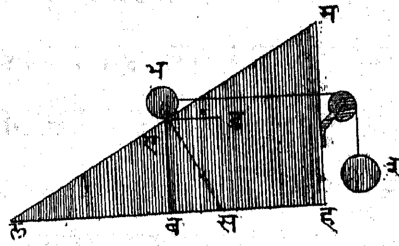
(डइ) हा कोटि (डस) या कर्णाशीं ठेवितो तसें प्रमाण जो भार (अ) या भाराशीं ठेवितो तसा (श) हा भार त्या दोरीला योजिला असतां (अ) याला तोलून धरील असें स्पष्ट होईल. चेपणाचें मान (सइ) या भुजाने दाखविलें आहे असें (७३) आकृतींतल्या विचाराप्रमाणे दाखवितां येईल.

शिक्षामालेच्या रीतीने पूर्वोक्त विचार वक्ष्यमाण प्रकारें दाखवितां येईल ह्मणजे उतरणीचा उच्चाला (ई) ह्मटलें असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे

$$\frac{\text{श}}{\text{भ}} = \frac{\text{डइ}}{\text{डस}} = \text{भु·ज्या (ई) आणि } \frac{\text{शी}}{\text{भ}} = \frac{\text{सइ}}{\text{सड}} = \text{को भु·ज्या (ई)}.$$

(९३) शक्ति समान दिशेंत ह्मणजे उतरणीचा भुजाशीं समांतर दिशेंत क्रिया करीत असतां भाराशीं शक्तीचें प्रमाण उतरणीचा भुजाशीं तिचा कोटीचें जें प्रमाण आहे तसें होईल. (७६) आकृति. या आकृतींत (एब) ही रेषा ऊर्ध्वाधर आहे ह्मणून ती भाराचा दिशेंत आहे. (एड) ही रेषा भुजाशीं समांतर असून शक्तीचा दिशेंत आहे. आणि (एस) ही रेषा उतरणीचा लंब दिशेंत असून प्रतिरोधाचा दिशेंत आहे.

(आ· ७६)



या प्रकारांत (एस) हा प्रतिरोध ह्मणजे चेपण शक्ति आणि भार यांचें फलमान आहे. शक्ति आणि भार हे दोन्हीं (एड) आणि (एब) किंवा (बस) आणि (एब) यांणी दाखविले आहेत. हा विचार पहिल्या निबंधाचा दुसऱ्या भागांत स्पष्ट आहे. आणि (एबस) हें त्रिकोण (लमह) या त्रिकोणाशीं समकोण आहे यास्तव तें त्याशीं तुल्य आहे. यास्तव (मह) या कोटीने शक्ति दाखविली

णी आईल (लह) या भुजाने भार दाखविला आईल आणि (लम) या कर्णाने चेपण दाखविलें आईल.

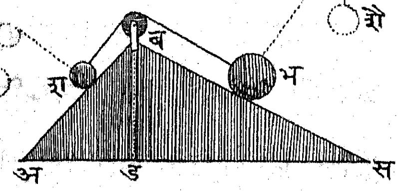
शिक्षामालेचा रीतीने हें दाखविलें असतां असें होतें ह्मणजे

$$\frac{\text{श}}{\text{भ}} = \frac{\text{मह}}{\text{लह}} = \text{स्पर्शरेघ(ई)} \text{ आणि } \frac{\text{चे}}{\text{भ}} = \frac{\text{लम}}{\text{लह}} = \frac{१}{\text{को भु·ज्या (ई)}} = \text{छेदनरेघ (ई)}.$$

(९४) जर शक्तीची दिशा उतरणीशीं समांतर आहे तर शक्ति सर्वांहून मोठ्या लाभाने क्रिया करिती असें स्पष्ट आहे. शिक्षामालेचा विचारावरून हें एकदांच स्थापितां येईल परंतु जा वक्ष्यमाण विचारून पूर्तें स्पष्ट होईल तो असा (७३) आकृतिप्रमाणे शक्ति उतरणीपासून जर वरचा दिशेंत क्रिया करिती तर ती उतरणीपासून भाराला उचलायासाठीं ह्मणजे चेपणाला कमी करायासाठीं कांहीं एका अंशाने खर्चिली जाती आणि शेष अंशानेच भाराला उतरणीवर ओढायास खर्चिली जाती. दुसऱ्यापक्षीं तिची दिशा जर उतरणीचे खालीं असली जसें (७६) आकृतींत दाखविलें आहे तर भाराला उतरणीवर चेपायास कांहीं अंशाने खर्चिली जाती आणि शेष अंशानेच उतरणीवर भाराला ओढायास खर्चिली जाती. पहिल्या निबंधाचा दुसऱ्या भागांत जें बलाचा संघाताविषयीं सांगितलें आहे तें लक्ष्यांत ठेविलें असतां अभ्यास करणाराला हा विचार फार स्पष्टतेने ज्ञात होईल. आणि जर शक्ति उतरणीचा समांतर दिशेंत क्रिया करिती तर भाराला उतरणीवर ओढायास तिचें सर्व कार्य खर्चिलें जाईल.

(९५) एका उतरणीवर जो भार आहे तो दुसऱ्या उतरणीवर जी शक्ति आहे तिणे उचलिला असतो तर जा जा उतरणीवर तीं आहेत त्या त्या उतरणीचा कर्णाचा प्रमाणांत होतील. (७७) आकृति. या आकृतींत (श) आणि (भ) हे दोन भार आहेत असें जाणून (अ ब) आणि (स ब) या दोहीं उतरणीवर जी दोरी त्यांला संबद्ध आहे तिचा ताणाने ते भार आधारिले आहेत. आणि तो ताण दोहोंची साधारण आधारभूत शक्ति आहे. आणि जा दिशा त्या

प्रमाणे अनुक्रमे दाखविलीं आहेत. याच प्रकारें (बस) या उतरणीविषयीं मात्र विचार केला असतां शक्ति ह्मणजे दोरीचा ताण आणि (भ) हा भार आणि चेपणही तीन्हीं (बड) (बस) आणि (सड) या रेषांनी अनुक्रमें



दाखविलीं आहेत. दोहों उतरणींविषयीं शक्ति ह्मणजे दोरीचा ताण एकसारिखा असतां (श) आणि (भ) हे भार (बअ) आणि (बस) या कर्णांच्या प्रमाणांत आहेत आणि चेपणें (अड) आणि (सड) या रेषांच्या प्रमाणांत आहेत.

(भ) या कोणीएका सांगीतलेल्या भाराला जी (श) अशी शक्ति उच्चलिती तिचें ज्ञान केल्याने आणि उतरणीचे कर्ण मोजिल्याने हा विषय परीक्षेंत आणितां येईल. असें केल्याने शक्ति आणि भार या दोहोंचें प्रमाण दोहों कर्णांच्या प्रमाणासारिखें आहे असें सर्वदां सिद्ध होईल. चेपणांचें प्रमाण ज्ञात करावयासाठीं असें करावें ह्मणजे (श) आणि (भ) यांला दोऱ्या लावून त्या कर्णांच्या लंब दिशांत नेऊन बैठ्या कप्प्यांवरून सोडिल्या असतां जसें प्रमाण (अड) आणि (सड) या रेषा (अब) आणि (बस) या रेषांशीं अनुक्रमे ठेवितात तसें प्रमाण जे भार (श) आणि (भ) यांशीं अनुक्रमें ठेवितात तसे (शो) आणि (शौ) हे भार त्या दोऱ्यांला योजावे. नंतर त्या उतरणी भारांपासून काढिल्या असतां ते भार आपल्या स्थितींच्या स्थितींत रहातील.

(९६) गुणवृद्धेगाचें बीज उतरणीविषयींही योजितां येईल. (७९) आकृतींत भाराचा गतीचा प्रारंभीं उतरणीचा (स) या पायावर भार आहे आणि कोटीचा (ड) या बिंदूवर शक्ति आहे असें कल्पावें. नंतर ओंपर्यंत भार उतरणीचावरचा

ऱ्या बिंदूवर येई तोंपर्यंत शक्तीला खालीं उतरूं द्यावी. आतां जो प्रदेश कपी-वरून खालीं गेलेल्या दोरीचा लांबीशीं ह्मणजे उतरणीचा कर्णाशीं समान आहे तितक्या प्रदेशांतून शक्ति खालीं येईल. आणि तितक्याच कालांत जो प्रदेश उतरणीचा कोटीशीं समान आहे तितक्या प्रदेशांतून भार वर जाईल ह्मणजे शक्ति आणि भार एकाच कालांत जा लंब प्रदेशांतून चालतात ते प्रदेश उतरणीची लांबी ह्मणजे कर्ण आणि उंची ह्मणजे कोटि आहेत. यास्तव हीं शक्ति आणि भार यांचा वेगांचीं प्रमाणें आहेत. आणि शक्तीशीं भाराचें प्रमाण कोटीशीं कर्णाचें प्रमाण आहे यास्तव शक्ति आणि भार आपापल्या गुणवद्वेगाचा व्यस्तप्रमाणांत आहेत. हें गुणवद्वेगाच बीजाशीं अनुरूप आहे.

उतरणीचा इतररूपांतरांविषयीं या बीजाची योजना दाखवावयास कठिन नाहीं परंतु उक्त उदाहरणावरून गतार्थ आहे.

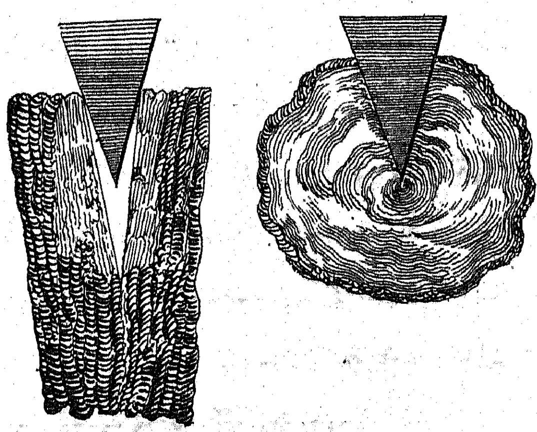
(९७) इतर सर्व शिल्पशक्तिप्रमाणे उतरणीचे ठायींही जशी जशी शक्ति वाढवावी तसा तसा वेग कमी होतो. तथापि कांहींएका प्रकारामध्ये तो कमीपणाच लाभ आहे. तो असा. जी उतरण झाज पाण्यांत लोटावयासाठीं करीत असतात ती किंचित् उतरती करीत असतात आणि एथे घर्षणाचें कार्य मानिलें असतां उतरणीवर जी शक्ति झाजाला आधारून धरिती ती जा बळाने झाज खालीं उतरतें त्याशीं समान आहे यास्तव उतरणीचें उच्च फार थोडकें करीत असतात यास्तव हें बल प्रमाणाने पाहिलें असतां फार थोडकें असतें.

भाग १०

पाचरेविषयीं

(९८) पाचर एक भरींव पदार्थ आहे. तिला भुमितिमध्ये त्रिकाण पृ-

लांकूड चिरावयास पाचर सामान्यतः उपयोगांत घेत असतात. या प्रकारांत तिची धार जी चीर पूर्वी केली असती तींत योजून पाचरेचा मस्तकावर आघाते करून तिला लांकूडांत प्रेरीत असतात. पाचर उसळून बाहेर नयावी यास्तव चिरावयाचा लांकूडाशीं तिचा बाजूंचें घर्षण पूर्ते असलें पाहिजे.



दोन उतरण आपापल्या भुजद्वारासंयुक्त होऊन एक पाचर झाली आहे आणि उतरणीचा कोटि संयुक्त होऊन पाचरेचा मस्तक झाला आहे असें जाणावें. शक्ति पाचरेचा मस्तकावर सामान्यतः लंबतेने योजिली असती यास्तव ती शक्ति त्या उतरणींचा साधारण भुजांशीं समांतर आहे आणि पाचरेचा चतुष्कोण बाजूंवर कोणत्या दिशेंत प्रतिरोध क्रिया करितो हें सांगायास फार अवघड आहे.

जा अनुभवामध्ये सर्वथा घेतां येत नाहींत अशी अनेक प्रमाणें आणि जा स्वीकृत असून अनुभवाशीं अनन्वित अशा अनेक कल्पना त्या अशा दोन्हीं पाचरेचा शास्त्रार्थामध्ये शिरल्या आहेत यास्तव हिचे सर्व शास्त्रार्थ यत्किंचित् किंवा सर्व कामाचे नाहींत.

पाचरेचा शास्त्रार्थामध्यें जे प्रकार फार भ्रम उत्पन्न करितात त्यांतला एकप्रकार प्रतिरोध आणि जा बलाने ह्मणजे शक्तीने त्याला प्रतिहत करीत असतात या उभयतांचा मोठा विषमस्वभाव हा आहे. बलाचा जा रूपां-

तराला

तराला चेपण ह्मणतात तें सामान्यतः प्रतिरोध असतो आणि या प्रतिरोधाशीं जी शक्ति विरुद्ध असती तीं जा क्रियेला सामान्यतः आघात ह्मणतात ती आहे. चेपण आणि आघात बलांची हीं प्रकृत रूपांतरें अशा निराळ्या जातीचीं आहेत कीं त्याचें सादृश्यही पाहातां येत नाहीं. आघात ह्मणजे ठेका हा कसाही लहान असो आणि प्रतिरोध ह्मणजे चेपण हें कसेंही मोठें असो तथापि प्रतिरोधाला आघात प्रतिहत करीत नाहीं असा आघात एकही नाहीं असें सामान्यतः मानिलें आहे. वास्तव अपार लहान आघात अपार मोठ्या चेपणाशीं तुल्य असतो असें प्रत्येक्षतः सिद्ध होतें. हें कसेंही असो तथापि बलांचा त्या रूपांतरांमध्ये जो मोठा भेद असतो तो भेद जा यंत्रामध्ये भार ह्मणजे प्रतिरोध एका जातीचें बल असतें आणि शक्ति दुसऱ्या जातीचें बल असतें त्या यंत्राचे समतोलनाचें प्रमाण सर्वथा स्थापितां येत नाहीं. हें दाखवावयास सहज आहे.

पाचरेचा मस्तकावर चेपण योजिलें असतां प्रतिरोधाचा जा कार्यानें पाचर उसळती त्या कार्याला समतोलनांत आणायास जें चेपण शक्य असतें तें तिचा शास्त्रार्थामध्ये शक्ति कल्पिली आहे. असा विचार केला असतां या शास्त्रार्थाचा अनुपयोगाला अधिक स्पष्ट दाखवील असा कांहीं अन्य विचार राहिला नाहीं. जा सर्व प्रकारामध्ये पाचर अनुभवासिद्ध उपयोगांत येत असतात त्या प्रकारांत पाचरेचा चतुरस्त्र बाजूंशीं प्रतिरोध करणाऱ्या काष्टादि पदार्थांचें घर्षण पाचरेचें उसळणे न व्हायासाठीं पूर्तें असलें पाहिजे. वास्तविक पाहिलें असतां या यंत्राला समतोलनांत ठेवावयास कांहीं बलांचें प्रयोजन नाही. आणि त्याला चलित करावयास चेपण कधीं उपयोगांत येत नाहीं. कारण अल्प आघात चेपणाहून कर्तृत्वांत फार अधिक असतो.

पाचरेविषयीं जें एकच शास्त्रार्थाचें साधारण बीज अनुभवामध्ये सर्वदा लागतें तें असें आहे कोन कमी कल्याने पाचरेची शक्ति वाढती.

छिन्न

छिन्न करणारीं यंत्रें ह्मणजे सुऱ्या तरवार कुऱ्हाडी किंकरें इत्यादि सर्व पाचर आहेत. या प्रकारांत चिरावयाचा पदार्थ जसा जसा कठिन असतो तसा तसा सामान्यतः पाचरेचा कोन मोठा मोठा असतो. उदाहरण. जी विंधणीं मऊ लांकूड कापावयास घेत असतात तीं कठिन लांकून कापावयाचा विंधण्यांपेक्षां पातळ असतात. आणि धात्वादि कठिन पदार्थ कापावयाचा विंधण्यांपेक्षां कठिन लांकूड कापावयाचीं अधिक पातळ असतात.

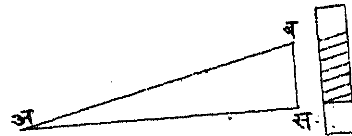
पाचरेचा पूर्वोक्त कथनामध्ये तिचा शास्त्रार्थाचें निरूपण करावयास यत्न केला नाहीं. कारण. तो शास्त्रार्थ सर्वथा अनुभवास येत नाहीं यास्तव असल्या ग्रंथांत नसावा हें चांगलें वाटतें.

भाग ११

यांत मळसूत्र.—हंटर साहेबाचें मळसूत्र.—अनंत मळसूत्र.—लघुमान मळसूत्र.— यांचें निरूपण केलें आहे.

(९९) मळसूत्र फार मोठ्या शिल्पशक्तीचें यंत्र आहे. तें अनेक कार्यांविषयीं योजीत असतात आणि ज्या प्रकारांत फार मोठें चेपण विवक्षित असतें त्या प्रकारांत सामान्यतः फार करून उपयोगांत घेत असतात. हें यंत्र उतरणीचें एक रूपांतर आहे. (८०) आकृतिया आकृतींत कोणी एका सिलिंडराचा अक्षरेषाशीं उतरणीची (ब स) ही कोटि समातर होई अशी त्या उतरणीला ठेवावी आणि (ब स) या कोटीला सिलिंडराचा बाजूशीं सलग्न ठेऊन उतरण त्या सिलिंडराला गुंडाळावी. एथे ती उतरण नम्र गुंडाळायाजोगी आहे असें कल्पिलें आहे. उतरणी

(आ. ८०)



च्या

चा (अब) हा कर्ण सिलिंडरावर एक वेंटाळ्यासारिखें सूत्र काढितो. त्या सूत्राला मळसूत्राचा पेंच ह्मणतात.

हें यंत्र (८१) आकृतींत दाखविलें आहे. कोणीएक पदार्थ मळसूत्रासहवर्त्तमान न फिरे असा दोहों पेंचांमध्ये ठेवून मळसूत्राला एक फेरा दिला असतां तो पदार्थ आपल्या पहिल्या स्थितीपासून पूर्वी जा पेंचावर ठेविला होता त्या पेंचाचा वरचा पेंचावर आपल्या पूर्व स्थिती सारिखी जी स्थिति आहे त्या स्थितींत आईल ह्मणजे जे दोन पेंच सन्निहित आहेत त्या पेंचांचा मधल्या अंतराइतक्या उंचींतून तो पदार्थ मळसूत्राने वर नेला आईल. या कृतीने जी उतरण सिलिंडराशीं गुंडाळिली आहे त्या उतरणीवर तो पदार्थ नेला आतो. आणि शक्ति मळसूत्राचा घेरावर योजिली आहे असें कल्पिलें आहे यास्तव ती उतरणीचा भुजाशीं समांतर रेषेंत क्रिया करिती.

(आ-८१)

या प्रकारांत भाराशीं शक्तीचें प्रमाण जसें उतरणीचा भुजाशीं तिचा कोटीचें आहे तसें आहे. हें (९२) कलमांत स्पष्ट आहे. आणि मळसूत्राचा एका फेऱ्यांत पेंचांचामध्ये जो पदार्थ ठेविला आहे तो पदार्थ जा उतरणीची कोटि दोहोंसन्निहित पेंचांचेमधलें अंतर आहे आणि जिचा भुज मळसूत्राचा घेर आहे त्या उतरणीवर नेला आतो. यापासून जा सिलिंडरावर ते पेंच केले आहेत त्याचा घेराशीं त्या पेंचांचा मधल्या अंतराचें प्रमाण असें आहे तसें भार ह्मणजे प्रतिरोध याशीं शक्तीचें प्रमाण आहे असें फलित होतें.

मळसूत्रावर शक्तीचें कार्य वक्ष्यमाण प्रकारें पोंचविलें आहे ह्मणजे सिलिंडराचा बाह्य पृष्ठावर जे मळसूत्राचे पेंच केले असतात त्यांशीं अनुरूप व्हावया जोगी सिलिंडराकार पोकळीचा आंतल्या पृष्ठावर मळसूत्राकार खचणी

केली

केली असती. आतां एक दुसऱ्यांत घालून फिरविलें असतां तें भरींव मळसूत्र प्रत्येका फेऱ्यांत संन्निहित पेंचाचे मधलें जें अंतर आहे तितक्या प्रदेशांतून पोकळ मळसूत्रांतून पुढें चालेल. या प्रकारें पोकळ मळसूत्रानें कार्य पोंचविलें असतें.

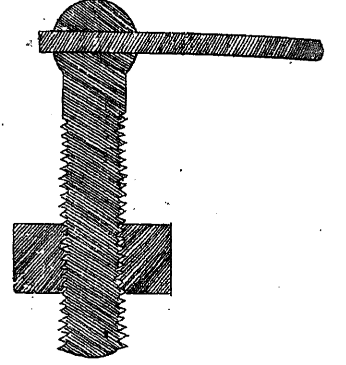
भरींव आणि पोकळ मळसूत्र यांचा अक्षरेषांचा दिशांतलें छिन्नांग (८२) आकृतींत दाखविलें आहे. पोकळ मळसूत्र फिरत नाहीं आणि आपल्या लांबीचा दिशेंत चालतही नाहीं असें स्थिर योजिलें असतां भरींव मळसूत्र उत्तरोत्तर पुढें चालेल असें स्पष्ट आहे. आणि प्रत्येका फेऱ्यांत जो प्रदेश दोहों सन्निहित पेंचांचामध्ये आहे त्याला व्यापील. दुसऱ्या पक्षीं ह्मणजे भरींव मळसूत्र आपल्या लांबीचा दिशेंत चालत नाहीं तर तें आपल्या वर्तुल गतीचा योगानें प्रत्येका फेऱ्यांत पोकळमळसूत्राला त्याचा लांबीचा दिशेंत प्रेरून जो प्रदेश दोहों संन्निहित पेंचांचा मधल्या अंतराशीं समान आहे त्या प्रदेशांतून नेतें.

(आ. ८२)

भरींव मळसूत्राला सामान्यतः नरमळसूत्र ह्मणतात आणि पोकळ मळसूत्राला नट किंवा मादीमळसूत्र ह्मणतात.

(१००) एथें मळसूत्राचा घेरावर शक्ति योजिली आहे असें मानिलें आणि मळसूत्र केवळ यंत्ररूपानें मानिलें तर उक्तप्रकारेंच शक्ति योजिली आहे असें कल्पिलें पाहिजे. परंतु अनुभवामध्ये मळसूत्र केवळ यंत्ररूपानें कधींही उपयोगांत घेत नाहीं तर जशी अक्षचक्राला तरफ लावून शक्ति योजीत असतात तशी मळसूत्राचा माथ्यावर सर्वदां तरफ लावून शक्ति योजितात. हें (८२) आकृतींत दाखविलें आहे. या प्रकारांत यंत्र मिश्रित असतें ह्मणजे तरफ आणि मळसूत्र यांणी केलें आहे. एथे भाराशीं शक्तीचें प्रमाण सहज ज्ञात होईल. (श) ही शक्ति आहे आ-

णि



णि मळसूत्राचा घेरावरचें या शक्तीचें कार्य (क्ष) आहे असें आणावें. आणि जा तरफेने शक्ति क्रिया करिती तिचा भुज (र) आहे. आणि मळसूत्राचा लांबीशीं लंबदिशेंत जें मळसूत्राचें छिन्नांग आहे त्याचा अर्धव्यास (री) आहे असें कल्पावें.आतां (३) भागांत जीं मूलकारणें स्थापिलीं आहेत त्यांवरून असें फलित होतें ह्मणजे

श × र = क्ष × री ह्मणजे

श : क्ष : : री : र

वर्तुळांचे अर्धव्यास त्याचा घेरांचे प्रमाणांत असतात यास्तव शक्तीने जो घेर केला आणि ज्याचा अर्धव्यास (र) आहे तो घेर (स) आणिला असतां आणि मळसूत्राचा जा घेराचा अर्धव्यास (री) आहे तो (सी) आणिला असतां असें फलित होतें ह्मणजे

री : र : : सी : स

यापासून असें प्राप्त होतें ह्मणजे

श : क्ष : : सी : स ह्मणजे

श × स = क्ष × सी

असें सिद्ध होतें· आणि (९९) कलमाप्रमाणे

क्ष : भ : : ड : सी

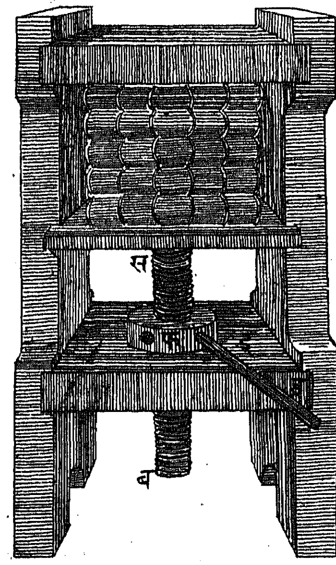
असें सिद्ध होतें. एथे जें अंतर पेंचांचामध्ये आहे तें (ड) आहे. यापासून असें सिद्ध होतें ह्मणजे

क्ष × सी = भ × ड. यास्तव

श × स = भ × ड. ह्मणजे

श : भ : : ड : स.

क्ति भाराशीं आहे.



जा तरफेने शक्ति क्रिया करिती ती तरफ नटाला जोडिली आहे आणि मळसूत्र आपल्या लांबीच्या दिशेंत मात्र चालतें. हा प्रकार बहुधा घडतो. (८४) आकृतींत जें दमनयंत्र दाखविलें आहे त्यांत (स) ही फळी चौकटीच्या बाजूंचेमध्ये खालींवर सरणारी अशी आहे. ती (स ब) या मळसूत्राने प्रेरिली असती. हें मळसूत्र वरच्याकडे अथवा खालच्याकडे नीट चालायास समर्थ आहे परंतु तें फिंरत नाहीं. (फ) हा नट (ड इ) या तरफेने प्रेरिला आहे. नटाच्या प्रत्येका फेऱ्यांत जो प्रदेश दोहों सन्निहित पेंचांच्यामधल्या अंतराशीं समान आहे त्या प्रदेशांतून मळसूत्र वर आतें.

शक्तीशीं भाराचें प्रमाण ह्मणजे मळसूत्राचें शिल्प कर्तृत्व हें दोहों सन्निहित पेंचांचामधल्या अंतराशीं जें शक्तीचा घराचें प्रमाण आहे त्याचे स्वाधीन आहे. यापासून जा तरफेने शक्ति क्रिया करिती त्या तरफेची लांबी वाढविल्याने अथवा पेंचांचेमधलें अंतर कमी केल्याने मळसूत्राचें कर्तृत्व वाढविता येतें हें स्पष्ट आहे. अक्षचक्राविषयीं जा (९८) कलमांत अनुभवसिद्ध मर्यादा दाखविल्या तशा या दोहोंलाही अनुभवसिद्ध मर्यादा आहेत.

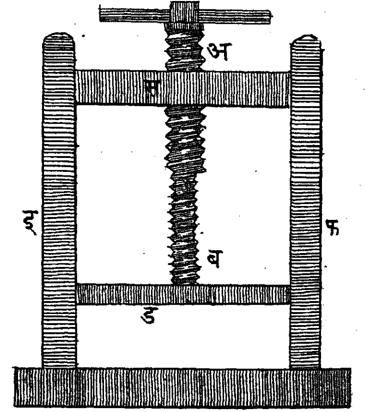
शक्तीचा तरफपणा फार वाढविला तर शक्ति गैरसोईचा फार मोठ्या

प्रदे

प्रदेशांतून क्रिया करील. त्या मुळें यंत्र अकटोविकट होईल. आणि जर मळसूत्रा चे पेंच फार बारीक आणि लहान केले तर नटांतून जातेवेळेस मोठ्या प्रतिरोधा ने ते मोडतील.

हंटर साहेबाचा एका युक्तीने हे दुर्गुण दूर केले आहेत आणि त्या युक्तीने यंत्राचे विवक्षित बल आणि संकोचितपणा तसाच राहून त्याला फारकरूनअ परिमित मानाचें शिल्पकर्तृत्व प्राप्त होतें

(आ. ८५)



ती युक्ति (८५) आकृतींत दाखविली आहे. (इ फ) ही एक बळकट चौकटआहे. हींत एक(ड) ही चालती फळी आहे. ती फळी जेव्हां खालचेकडे प्रेरिली असती तेव्हां जो पदार्थ चौकटीचें तल आणि फळी यांचेमध्ये ठेविला आहे त्यावर चेपण उत्पन्न करिती. (ड) या सरणाऱ्या फळीला(ब) हें मळसूत्राचा पेंचांचें सिलिंडर जोडिलें आहे. (स) हा एक स्थिर नट आहे. त्यांतून (अ) हें मळसूत्र शिरतें. (अ) हें मळसूत्र एक पोकळ सिलिंडर आहे. त्याचा आंतल्या पृष्ठाला (ब) या मळसूत्राला शिरू द्यायाजोगा मळसूत्री नट आहे. (अ) हें मळसूत्र एकवेळ फिरविलें असतां तें दोहों सन्निहित पेंचांचामधल्या अंतराइतक्या प्रदेशांतून (स) या नटांत पुढें जातें. आणि (ब) हें मळसूत्र क्रिया करीत नाहीं असें जर कल्पिलें तर (अ) या मळसूत्राचा पेंचांचेमधलें जें अंतर आहे तितक्या अंतरांतून (ड) ही फळी तळाकडे आईल. परंतु जा कालीं (अ) हें मळसूत्र आपल्या फेऱ्याचा योगाने (स) या नटांत पुढें जातें त्या कालीं तेंच कारण (ब) या मळसूत्राला आपल्या दोहों सन्निहित पेंचांचामध्याइतका अंतरांतून (स) याकडे प्रेरितें. ह्मणजे (अ) हें फिरविलें असतां आपल्या आंतल्या पोकळ पृष्ठावर जो नट

आहे

आहे तो (ब) या मळसूत्रावर फिरविला जातो. आतां (अ) आणि (ब) या दो-
हों मळसूत्रांचे पेंच जर समान असले तर या दोहों गतींचें कार्य असें होई-
ल ह्मणजे (ड) ही फळी आपली पूर्वीची स्थिति धरील. कारण फळीला खा-
लीं प्रेरायास जें एका मळसूत्राचें कार्य आहे तें तिला वर प्रेरायास दुसऱ्या
मळसूत्राचें जें कार्य आहे त्याशीं समान आहे.

आतां (ब) या मळसूत्राचा पेंचांचेमधलें अंतर (अ) या मळसूत्राचा
पेंचांचेमधल्या अंतराहून किंचित् कमी आहे असें जर कल्पिलें तर कार्य नि-
राळें होईल. या प्रकारांत एक फेरा जा कालीं (अ) या मळसूत्राला आपल्या
पेंचांचामधल्या अंतराशीं समान प्रदेशांतून खालीं प्रेरितो त्या कालीं (ब)
हें मळसूत्र (अ) या मळसूत्राचे आंत आपल्या पेंचांचामधल्या अंतराशीं स-
मान प्रदेशांतून वर प्रेरिलें जातें. याचें एकवटलेलें कार्य असें आहे ह्मण-
जे (ब) हें मळसूत्र आणि जा फळीला तें जोडिलें आहे ती (स) ही फळी हीं उ-
भयतां त्या दोहों मळसूत्रांचा पेंचांचा मधल्या त्या दोहों अंतरांचा अंतराशीं स-
मान प्रदेशांतून खालीं प्रेरिलीं जातील.

उदाहरण. जर (अ) या मळसूत्राला एका इंचेंत वीस पेंच असले आ-
णि (ब) याला तितक्यांत एकवीस पेंच असले तर प्रत्येका फेऱ्यांत (अ) हें म-
ळसूत्र एका इंचेचा (१/२०) विंशत्यंशांतून खालीं येईल. या गतींत (अ) हें नट
(ब) यावर फिरत नाहीं असें मानिलें तर (ब) हें मळसूत्र आणि (ड) ही फळी
एका इंचेचा (१/२०) विंशत्यंशांतून खालीं येईल. असें झालें असतां (ब) हें मळ-
सूत्र (अ) या नटामध्ये एकवेळ फिरलें असें आतां कल्पिलें तर (ब) हें मळ-
सूत्र आणि (स) ही फळी हीं दोन्हीं एका इंचेचा (१/२१) एकविंशत्यंशांतून वर ने-
लीं जातील. आतां एका इंचेचा (१/२१) एकविंशत्यंशाहून (१/२०) विंशत्यंश जि-
तका अधिक आहे तितक्या अंतरानें पूर्वीचा स्थितीचा खालीं फळीची प्रकृ-
त स्थिति होईल. ह्मणजे (१/४२०) इंचेचा चारशें विसाव्या अंश इतकी खालीं
होईल

होईल.

हीं पूर्वोक्त मळसूत्रांचीं कार्यें वस्तुतः पाहिलीं असतां एका कालीं होतात परंतु हें सर्व वर्णन अधिक स्पष्ट करावयासाठीं तीं कार्यें उत्तरोत्तर ह्मणजे भिन्न कालांत होतात असें कल्पिलें आहे. जी गति (अ) या मळसूत्राला खालीं प्रेरिती तीच गति (ब) याला वर नेती आणि मळसूत्राचा या दोन गति उत्तरोत्तर झाल्यानी जें कार्य होतें तसेंच कार्य एथे आहे.

यास्तव (अ) आणि (ब) या दोहों मळसूत्रांचा पेंचांचा मधलीं जीं दोन अंतरें आहेत त्यांचा अंतराशीं जा एका मळसूत्राचा पेंचांचा मधलें अंतर समान आहे त्या एका केवल मळसूत्राचें कार्य या दोहों मळसूत्रयंत्रांचा कार्यासारिखें आहे. यास्तव शक्ति आणि भार यांचें प्रमाण त्या दोहों मळसूत्रांचा पेंचांचामधल्या अंतरांचें अंतर आणि शक्तीने झालेला घेर या दोहोंचें प्रमाण हीं दोन्हीं समान आहेत.

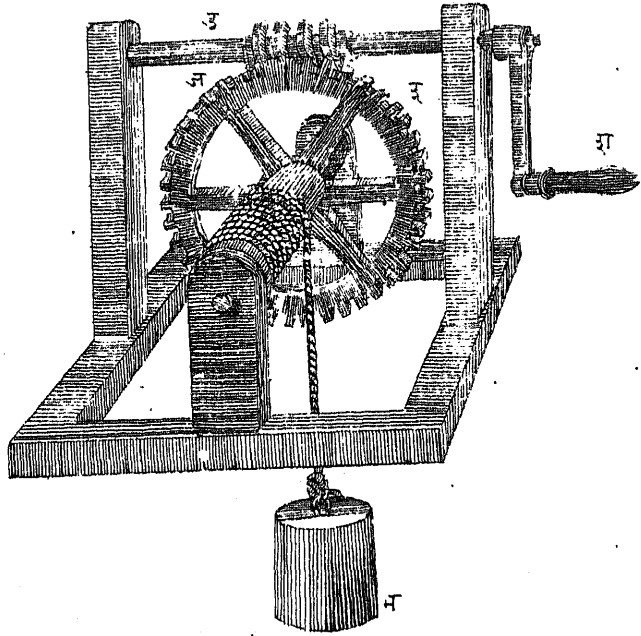
यास्तव मळसूत्रांचा पेंचांचामधल्या अंतरांचें अंतर कमी केल्याने शिल्पकर्तृत्व वाढतें. उदाहरण. शक्तीने झालेला घेर (२०) इंचा आहे आणि एका मळसूत्राला एका इंचेंत (२०) पेंच आहेत आणि दुसऱ्याला (२१) आहेत यास्तव भाराशीं शक्तीचें प्रमाण (२०) यांशीं ($\frac{१}{२०}$) आणि ($\frac{१}{२१}$) यांचें अंतर ह्मणजे ($\frac{१}{४२०}$) यांचा प्रमाणाशीं समान आहे ह्मणजे (१:८४००). आणि जर एका मळसूत्राला एका इंचेंत (३०) पेंच आहेत आणि दुसऱ्याला (३१) आहेत यास्तव भाराशीं शक्तीचें प्रमाण (२०) यांशीं ($\frac{१}{३०}$) आणि ($\frac{१}{३१}$) यांचें अंतर ह्मणजे ($\frac{१}{९३०}$) याचा प्रमाणाशीं समान आहे ह्मणजे (१:१८६००).

या प्रकारें प्रत्येका मळसूत्राचे पेंच कोणीएका विवक्षित मानाचे आणि बलाचे करितां येतील आणि त्या पेंचांला परस्परांचा समतेचा फार जवळ नेऊन यंत्राला कोणत्याही मानाचा शक्तीचें करितां येईल. स्पष्टार्थ. पूर्वोक्त विचारावरून जीं दोन मळसूत्रें एका फुटींत (३०) आणि (३१) पेंचांचीं केलीं

आहेत

आहेत तीं एकेरी जें मळसूत्र एका फुटांत (१२०) पेंचांचें आहे त्याशीं समान आहे असें दृष्टीस येतें.

(आ० ८६)



(१०१) मळसूत्राचे पेंच कधीं नटाला प्रेरिल्यावांचून (८६) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें चक्राचा दंतांवर क्रिया करितात. या मळसूत्राला अनंत मळसूत्र ह्मणतात. या आकृतींत मळसूत्रयंत्र यंत्रसमूह आहे ह्मणजे तें मळसूत्र आणि अक्षचक्र यांणीं झालेलें आहे. याविषयीं शक्ति आणि भार यांचा संबंध सहज शोधितां येईल. (श) ही शक्ति आहे आणि (जइ) या चक्रावरचें तिचें कार्य (क्ष) आहे (र) चक्राच्या अर्धव्यास आहे (ड) मळसूत्राच्या पेंचांचामधलें अंतर आहे (री) आंसाच्या अर्धव्यास आणि (भ) भार ह्मणजे प्रतिरोध आहे आणि शक्तीने झालेला फेर (स) आहे असें आणावें. मळसूत्राविषयीं जें स्थापिलें आहे त्याप्रमाणेंच हें होतें ह्मणजे

$$श \times स = क्ष \times ड$$

असें सिद्ध होतें. आणि (९०) कलमांत अक्षचक्राचे जे गुण स्थापिले आहेत त्याप्रमाणेंच हें होतें ह्मणजे

$$क्ष \times र = भ \times री$$

असें सिद्ध होतें. या दोहों समीकरणांला परस्परांनी गुणिल्या असतां

$$श \times स \times क्ष \times र = क्ष \times ड \times भ \times री$$

असें प्राप्त होतें. आणि (क्ष) हा साधारण गुणक काढिला असतां असें सिद्ध होतें

तें ह्मणजे

$$श \times स \times र = भ \times ड \times री$$ ह्मणजे

$$श : भ :: ड \times री : स \times र$$ ह्मणजे

पेंचांचामधलें अंतर आंसाचा अर्धव्यासाने गुणिलें असतां तो गुणाकार शक्तीने झालेला घेर चक्राचा अर्धव्यासाने गुणिला असतां त्या गुणाकाराशीं जा प्रमाणांत आहे त्या प्रमाणांत शक्ति भाराशीं आहे.

या यंत्राचा समतोलनाचा प्रमाणाविषयीं कितीएका ग्रंथकारांची चूक झाली आहे आणि ती एका ग्रंथापासून दुसऱ्या ग्रंथांत शिरली आहे. ती अशी शक्तीने झालेल्या घेरावांचून अर्धव्यास हिशोबांत घेतला आहे यास्तव यंत्राचा वास्तविक कर्तृत्वाचा सुमारें षष्ठांश मात्र कर्तृत्व दाखविलें आहे.

(१०२) शक्तीचा फार मोठ्या गतीने मळसूत्राला फार लहान गति देतां येती यास्तव अति लहान प्रदेश मोजावयासाठीं हें यंत्र फार उपयोगाचें आहे. त्या कार्याविषयीं हें यंत्र योजावयाची रीति सहज वर्णितां येईल. जाला एका इंचेंत पन्नास पेंच आहेत असें एक मळसूत्र केलें आहे. आणि याचा माथ्यावर एक चिन्हित चक्र लाविलें आहे. त्या चक्रावर मळसूत्राला जोडिलेला एक सूचक खेळत असतो असें कल्पावें. मळसूत्राचा एका फेऱ्यांत त्या सूचकाचें अग्र किंवा जें कांहीं त्या अग्राने चालविलें आहे तें जो प्रदेश एका इंचेचा पन्नासाव्या अंशाशीं समान आहे त्या प्रदेशांतून चालेल. जा चक्रावर सूचक खेळतो त्याचे समान शंभर भाग सहज करितां येतील यास्तव यांतल्या एका भागावरून सूचकाची गति एका सगळ्या फेऱ्याचा शंभराव्या अंशाशीं अनुरूप आहे असें फलित होतें. आणि एका फेऱ्यांत एका इंचेचा पन्नासाव्या अंशांतून मळसूत्र चालतें यास्तव जेव्हां चक्राचा एका भागावरून सूचक चालतो तेव्हां मळसूत्र एका इंचेचा($\frac{१}{५०००}$) पांच हजाराव्या अंशांतून चालतें.

या विषयीं जें मळसूत्र करितात त्याला लघुमान मळसूत्र ह्मणता-

भागचिन्ह आहे त्या चिन्हापेक्षां लहान प्रदेश त्या यंत्राने शुद्धतेने मोजितां येत नाहीं. आतां त्या लहान्या भागाचामध्ये कोणी एका स्थलीं जो बिंदु आहे त्या बिंदूची लांबी यंत्राचा कोणी एका इतर भागापासून किती आहे ती यंत्रावरचा विवक्षित भागांचा कोणी एका संख्येहून अधिक आहे आणि या संख्येपेक्षां एकाने जी संख्या अधिक आहे त्या संख्येहून ही लांबी कमी आहे असा सिद्धांत करावयास सहज येईल. परंतु एका संख्येहून किति अधिक आणि दुसरीहून किति उणी आहे हें यंत्राची चिन्हें स्वतः दाखवीत नाहींत. आतां यंत्राचा चिन्हित केलेल्या पृष्ठाशीं लघुमान मळसूत्राची लांबी समांतर होईल आणि मळसूत्राचें अग्र अथवा जी तार ह्मणजे कांटा मळसूत्राचा अग्राने चालविला आहे ती तार जा चिन्हान्चामध्ये तो शोधायाचा बिंदु आहे त्यांतल्या एका चिन्हाचे समोर होई असें तें मळसूत्र योजिलें आहे असें कल्पावें. आतां जें चिन्ह सन्निहित असून त्या कांट्याचा समोर आहे त्या चिन्हापासून तो कांटा पूर्वोक्त बिंदूचे समोर येईल तोंपर्यंत मळसूत्र फिरवून कांटा चालविला असतां त्या मळसूत्राचे ते फेरे आणि त्या फेऱ्याचे अंश या उभयतांची जी संख्या आहे ती त्या सन्निहित भागापासून त्या बिंदूची जी लांबी आहे तिला दाखवील.

(४४) कलमांत जो तूळ दाखविला आहे त्यांत अल्प प्रदेश मोजावयाविषयीं उपयुक्त होई असें एक या मळसूत्राचा योजनेचें उदाहरण दाखवितो. त्या तूळांत जें गवाक्ष (श) या सरणाच्या वजनाला धरितें तें त्यांत बसविलेल्या लघुमानमळसूत्रासहवर्त्तमानजरचालतें आणि या मळसूत्राचें

अग्र

अग्र (जब) या चिन्हित केलेल्या भुजाचा जा स्थलावर (श) ही शक्ति क्रिया क रिती त्या स्थलाला दाखवील असें योजिलें आणि मळसूत्राचा सोळा फेऱ्यां त त्याचें अग्र भुजाचा एका चिन्हापासून दुसऱ्या चिन्हापर्यंत जाई असें तें मळसूत्र केलें आणि तो भुज रतलांचा मानांनी चिन्हित केला असें जर कल्पिलें आणि जेव्हां (भ) हा भार समतोलनांत असतो तेव्हां मळसूत्राचें अग्र (जब) या भुजाचा दाहाव्या आणि अकराव्या या दोहों चिन्हांचे मध्ये आहे असें ही जर कल्पिलें तर भार दाहां रतलांपेक्षां अधिक आणि अकरा रतलांपेक्षां उणा आहे असें स्पष्ट दिसेल. आतां मळसूत्राचें अग्र त्या मधल्या स्थळापासून त्या दाहाव्या चिन्हापर्यंत जाई तोंपर्यंत मळसूत्राला फिरवावें आणि फेऱ्यांची संख्या ध्यानांत ठेवावी ह्मणजे जर ती सात आहे तर ती एका भागाची (७/१६) इतकी आहे ह्मणजे एका रतलाचा (७/१६) इतका अंश ह्मणजे सात औंस आहे. यास्तव भार दाहा रतल आणि सात औंस आहे. याच प्रकारें जर (५ १/२) साडे पांच फेरे झाले असते तर भार दाहा रतल आणि साडेपांच औंस होईल असें पुढेंही जाणावें.

हंटर साहेबाचें पूर्वोक्त मळसूत्र लघुमान कार्याविषयीं या मळसूत्रापेक्षां विशेष उपयोगीचें आहे. कारण या प्रकारांत केवल मळसूत्राला फार बारीक पेंच केले पाहिजेत. तसल्या फार बारीक पेंचांवांचूनही हंटर साहेबाचें मळसूत्र फार मंदगति उत्पन्न करितें.

भाग १२

या भागांत यंत्रें नियमित करावयाचा रीति.—उड्डीन चक्राचा स्वभाव.—बल नियमित करायाची उड्डीन चक्राची शक्ति.—बलाला जमवायाची त्याची शक्ति.—याचीं उदाहरणें.—नियमकाचा स्वभाव आणि गुण.—यांचें निरूपण केलें आहे.

(१०३) पदार्थ निर्मितीविषयीं यंत्रांला प्रेरीत असतां त्यांवर बल

योजून

णांमधल्या कोणी एकाकारणापासून यंत्रांचा व्यापारामध्ये विषमता उत्पन्न होती. पहिलें कारण. जी शक्ति ह्मणजे आदिचालक यंत्राला प्रेरिती तिचा कार्याची विषमता. एकेरी वाफ यंत्रांत याचें एक उदाहरण आहे. यांत दट्टा खालीं उतरत असतां वाफेचें स्थितिस्थापक बल त्यावर क्रिया करितें परंतु तो वर जात असतां त्या बळांची क्रिया बंद होती. दुसरें कारण. यंत्रावरचा भार ह्मणजे प्रतिरोध याची विषमता आणि गतीचा काळांत यंत्राचे भाग जा निर्निराळ्या स्थिति घेतात त्या स्थितिंमध्ये यंत्र प्रेरक शक्तीला न्यूनाधिक कर्तृत्वाने कार्यस्थलापर्यंत पोंचविते. हें तिसरें कारण आणावें.

ही अव्यवस्था दूर करावयासाठीं सर्वांहून सोप्या आणि कर्तृत्वाचा अशा जा रीति आहेत त्यांतली एक रीति उड्डीन चक्र ह्मणून आहे. उड्डीनचक्र एक जड वलय आहे तें आपल्या आंसावर समतोलनांत राहून प्रेरक शक्तीपासून त्याला गति प्राप्त होऊन यंत्रासहवर्त्तमान त्वरित फिरे अशा युक्तीने यंत्राला जोडिलें आहे. आतां जा प्रकारांत प्रेरक शक्ति एकसारिखी आहे आणि भार ह्मणजे प्रतिरोध अव्यवस्थित आणि राहून राहून क्रिया करणारा आहे असा एक प्रकार कल्पावा. पहिल्या निबंधाचा पांचव्या भागांत जें ऊर्ध्वाहतचक्र दाखविलें आहे तें पाण्याचा अव्यवस्थित आणि एकसारिख्या पतनाने प्रेरिलें आहे. हें एक उदाहरण आहे. हें चक्र एक साधारण ओढण बंबावर क्रिया करायास योजिलें आहे. ओढण बंबाविषयीं वातविज्ञानाचा निबंधांत (४०) कलमांत पाहावें. एथे प्रेरकशक्ति सतत आणि एकसारिखी आहे परंतु दट्टा वर जात असतां मात्र प्रति-

रोध

रोध क्रिया करितो. आणि यंत्र त्याचा खालीं येण्याचा कालांत भाररहित असतें. दट्टा खालीं उतरत असतां प्रेरकशक्तीला यंत्राचें स्थैर्य आणि त्याचे अवयवां-चें घर्षण या उभयतांवांचून प्रतिहत करायास दुसरें कांहीं नाहीं यास्तव ती शक्ति त्वरित वर्धमान बलाने दट्ट्याला खालीं प्रेरिती. त्यामुळें दट्ट्याचा आ-वृतीचा खालचा मर्यादेचाठायीं दट्ट्याला फार मोठा वेग प्राप्त होईल. आणि दट्ट्याचावर येण्यांत जो पाण्याचा खांब दट्ट्याने उचलिला जातो त्या खांबा-ने ती प्रेरकशक्ति निरोधिली जाईल. हा प्रकार वातविज्ञानाचा निबंधांत-ल्या (४०) कलमांत पाहावें. ही पूर्वोक्त क्रिया चक्राचा गतीला सतत क्षयग-त करिती त्यामुळें दट्टा आपल्या आवृतीचा वरचा मर्यादेपर्यंत जेव्हां जा-तो तेव्हां त्याची ती सर्व वर्धमानता नाहींशी होती आणि पूर्वोक्त डळमळी-त आणि विषम गति पुनः प्राप्त होती. असल्या यंत्राला जर उड्डीनचक्र यो-जिलें तर हे सर्व दुर्गण फारकरून दूर होतील. तें असें. प्रेरकशक्तीने उड्डीन चक्राचा घेर त्वरित गतींत आणिला असतां तोही दोन कार्यें स्पष्ट उत्पन्न करितो ह्मणजे आपल्या स्थैरगुणाने आपल्या गतीचा अकस्मात् वर्धमानतेला आणि अकस्मात् क्षयगतत्वाला फार मोठा निरोध करितो. स्पष्टार्थ जी गति प्राप्त झाली ती गति तशीच राखावी आणि अधिक ग-ति न घ्यावी असा त्याचा स्वभाव आहे. आणि या पूर्वोक्त क्रियेने दट्टा वर चढतीवेळेस पाण्याचा खांब वर आकर्षिला आहे तो केवळ पूर्वोक्ताप्रमाणे आ-दिचालकाचा कर्तृत्वानेच आकर्षिला आहे असें नाहीं तर उड्डीन चक्राला जें चालतें बल प्राप्त झालें आहे आणि जाला तें चक्र राखायास यत्न क-रितें त्याणेही आकर्षिला आहे. दुसऱ्यापक्षीं जेव्हां दट्टा भाररहित अ-सून खालीं उतरतो तेव्हां जें आदिचालक दट्ट्याचा अकस्मात् वर्धमानते-ला पूर्वीं उत्पन्न करितें त्या आदिचालकाची क्रिया आतां उड्डीन चक्राने निरोधिली आहे. आणि जी वर्धमान गति पूर्वीं उत्पन्न झाली तिला हें च-

क्र

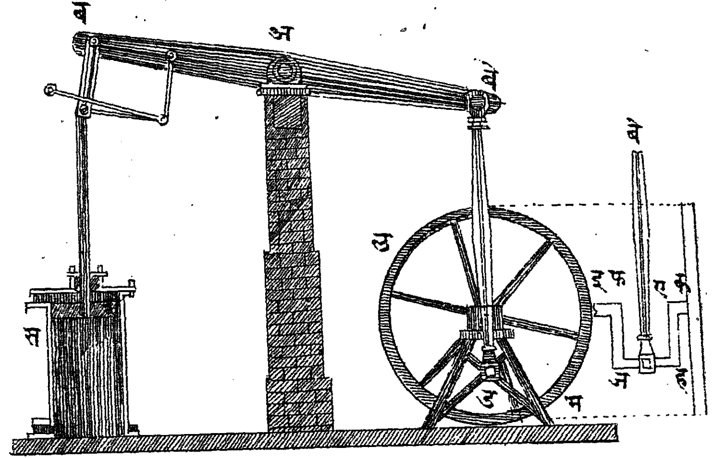
जें उदाहरण आतां सांगीतलें त्यांत विषम प्रतिरोध एकसारिख्या शक्तीनें निरोधिला आहे परंतु बहुतकरून याचा विरुद्धही घडतें ह्मणजे विषमशक्ति सतत प्रतिरोधानें निरोधिली असती. उदाहरण. जा एकेरी वाफयंत्राविषयीं सांगीतलें त्या यंत्रांत जेव्हां वाफेचा चेपणानें दट्टा खालीं प्रेरिला जातो तेव्हां लाटेचा दुसऱ्या शेवटाला टांगिलेल्या एका वजनानें तो दट्टा सामान्यतः पुनः वर नेला जातो. या प्रकारांत आदिचालक फार विषम असतें यास्तव जेथे क्रियेचा एकसारखेपणा विवक्षित आहे तेथे हें चालक कांहीं उपयोगाचें नाहीं. आणि जर यंत्राला उड्डीन चक्र योजिलें तर दट्टा खालीं उतरत असतां जें चालकत्व त्या चक्राला प्राप्त होतें त्या चालकत्वाला तें चक्र दट्टा वर जात असतां शक्तीचा स्तब्धकालीं आपल्या स्थैरगुणानें धरितें. आणि हें चालकत्वाचें बल शक्तीचा स्तब्धकालांत यंत्राला प्रेरितें ह्मणजे प्रतिरोध कसाही असो तथापि त्याशीं विरुद्ध क्रिया करितें.

जेथे प्रेरकशक्ति आणि प्रतिरोध हीं दोन्हीं एकसारिखीं असतात तेथेही या दोहोंमधलें एक दुसऱ्याकडे एकसारिखेपणानें कदाचित् पोंचत नसतें. (८७) आकृति. या आकृतींत (स) या सिलिंडरांत क्रिया करणारा (श) हा दट्टा (अ) या केंद्रावर क्रिया करणाऱ्या लाटेचा (ब) या शेवटाला संबद्ध केला आहे. या लाटेचा (बे) हा दुसरा शेवट (बेड) या गजानें (फअहएक) या कांकाला संबद्ध केला आहे. हें कांक (इफएक) या आंसानें फिरविलें आहे. दट्टा वर आणि खालीं येई असा वाफेनें प्रेरिला जातो. आणि प्रकृत स्थितींत (८७) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणे सिलिंडराचा

मस्तकांत

मस्तकांत तो दट्टा आहे असें कल्पिलें असतां लाटेचा (ब) हा शेवट वरचा

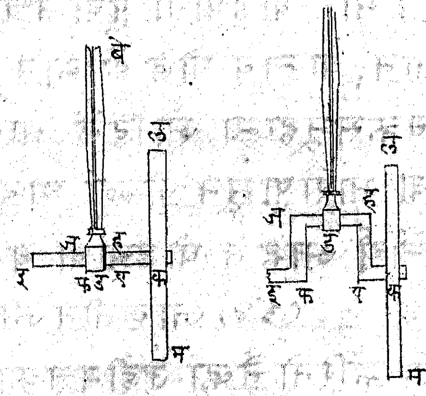
(आ. ८७)



स्थितींत आणि (बे) हा शेवट खालचा स्थितींत होईल. यास्तव (जह) हें क्रांक खालचा स्थितींत होईल. तें या स्थितींत असतां वाफेचें चेपण (श) या दट्ट्याला खालचेकडे प्रेरितें असें कल्पावें. आतां दट्टा आणि लाट याचेठायीं क्रांकाला फिरावयास शक्ति नाहीं हें स्पष्ट आहे. स्पष्टार्थ दट्टा खालीं चेपिला जात असतां (बेड) या संबद्ध करणाऱ्या गजाला नीट वरचाकडे ओढितो. परंतु या प्रकृत स्थितींत (बेड) (इफ) (फज) (जह) (हए) आणि (एक) हे सर्व गज एकाच ऊर्ध्वाधर सपाटींत आहेत यास्तव (बेड) याचा वरचाकडचें बल क्रांकाचा आंसाचा (इ) आणि (क) या कीलांनी निरोधिलें आहे ह्मणून (बेड) याचा बलाला क्रांकाला फिरावयास कांहीं तरफपणा नाहीं. यास्तव जा शिल्पसंकटांत यंत्राला फिरायास प्रेरक शक्तीचें कर्तृत्व चालत नाहीं तसल्या संकटांत हें यंत्र सांप्रत आहे. आतां क्रांक आपल्या प्रकृत स्तितीपासून थोडकें कलथलें आहे असें कल्पिलें असतां (बेड) हा गज आणि क्रांक हीं एका सपाटींत नसतात यास्तव गजाला कांहीं लहान तरफपणा प्राप्त होऊन तो त्या क्रांकाला फिरवितो. जोंपर्यंत (फजहए) या क्रांकाचें पृष्ठ संबद्ध करणाऱ्या गजाशीं लंब होतें जसें (८८) आकृतींत दाखविलें आहे तोंपर्यंत तरफपणा सवत्त वाढतो. असल्या स्थितींत क्रांकावर संबद्ध करणाऱ्या

गजाची

वृत्व क्रांकावर चालत नाहीं. आतां वाफेचें चेपण दट्टयाला वर प्रेरितें असें कल्पिलें असतां (बेड) हा संबद्ध करणारा गज खालचेकडे चेपिला जाईल. आणि क्रांक आणि गज हीं एकाच ऊर्ध्वाधर सपाटींत आहेत यास्तव गजाचें चेपण क्रांकाचा आंसाचा कीलांवर सर्व खर्चिलें जाईल. आणि गजाला कांहीं तरफपणा नाहीं यास्तव तो क्रांकाला फिरविणार नाहीं. जेव्हां यंत्र पूर्वोक्तप्रकारचें केलें तेव्हां आदिचालकाची एकसारिखी क्रिया रूपांतर पावून विषम होईल आणि जा यंत्राने ती कार्यस्थलावर पोंचविली असती त्या यंत्राचा स्वभावाने कोणीएका कालीं नाहींशी होती. तथापि क्रांकाचा आंसाला क्रांकासहवर्त्तमान फिरणारें असें एक (ल म) उड्डीनचक्र योजिलें असतां हा दुर्गुण अगदी दूर होईल. तो असा. जा कालीं प्रेरकबलाची शक्ति क्रांकावर चालत नाहीं त्या कालीं उड्डीन चक्राचें चालकबल यंत्राला संकटापासून सोडवितें. आणि विषम तरफपणाने आदिचालक क्रांकावर क्रिया करितें त्या तरफपणाचा कार्याची समता करितें.



विलायत देशांत वेस्मिन्ष्टर गावांत वेस्टमिन्स्टर ह्मणून एक पूल आहे त्या पूलाचे इमारतीचा खालचे लांकूडाचे खांब पुरावयास वाल्ू साहेबाने जें यंत्र केलें त्यांत उड्डीनचक्राचा उपयोगाचें एक चमत्कारिक उदाहरण स्पष्ट आहे. या यंत्रांत एक जड मोगर आहे. आणि जी घोड्यांची

शक्ति

शक्ति दोरी आणि चक्रसमूह याचा संबंधाने त्या मोगरावर क्रिया करिती त्या शक्तीने तो उचलिला असतो. आणि जेव्हां तो मोठ्या उंचीवर आतो तेव्हां त्याला तेथून सोडून जो खांब पुरावयाचा आहे त्यावर पडूं देतात. आणि जा वेळेस हा मोगर तेथून सुटतो त्या वेळेस यंत्राला कांहीं प्रतिरोध नसतो. आणि जो भार घोड्यांनी पूर्वी उचलिला होता त्यापासून घोडे अकस्मात् मोकळे होतात. यास्तव घोडे झोंकाने लागलेच पुढें पडावें. परंतु एक जड उड्डीन चक्र चक्रसमूहाला जोडिलें आहे यास्तव ते पुढें पडत नाहींतवर नेलेल्या मोगराचा भारापासून जेव्हां घोडे अकस्मात् मोकळे होतात तेव्हां त्या चक्राचें जें स्थैर्य आहे तें घोड्यांचा बलाला प्रतिरोध करितें.

(२४) आकृतींत जी विंच दाखविली आहे तिचर जेव्हां मनुष्य क्रिया करितो तेव्हां उड्डीनचक्राचा लाभ प्रत्यक्ष आहे. या प्रकारांत शक्तीची क्रिया फार विषम आहे. ती अशी. जेव्हां मनुष्य विंचेला गुडघ्यापासून वर ओढितो तेव्हां शक्तीचें कार्य सर्वाहून मोठें होत असतें. आणि विंचेचा दांडा ऊर्ध्वाधर स्थितींत असतां मनुष्य आपल्यापासून विंचेला समान दिशेंत टकलितो तेव्हां शक्तीचें कार्य सर्वाहून लहान असतें. आणि जेव्हां दांड्याला खालचेकडे चेपितो तेव्हां आपल्या स्वभाराचे साहाय्यतेने तें कार्य कांहीं अधिक होतें. जर उड्डीनचक्र विंचेचा आंसावर जोडिलें तर हीं सर्व विषम कार्यें एकमेकांमधून झिरत असतां बल एकसारिखें होईल.

यंत्राची क्रिया नियमित करायासाठीं उड्डीनचक्राचा जसा उपयोग आहे तसे शक्तीचे उत्तरोत्तर सर्व यत्न मिळवून एकवट करायासाठीं हें चक्र उपयोगांत घेत असतात. ह्मणजे जें कार्य निर्निराळ्या उत्तरोत्तर यत्नांनी उत्पन्न होतें त्या कार्यापेक्षां फार मोठ्या बलाचें कार्य त्या यत्नांचा संचयेकरून उत्पन्न होईल. पहिल्या निबंधाचा (९६) कलमांत जो संकोचित वायु सांगीतला तो या प्रकारांत जा कार्याविषयीं उप-

युक्त

युक्त असतो तसल्याकार्याविषयीं उड्डीनचक्रही उपयुक्त असतें. उड्डीनचक्राला व-
र्तुलगति द्यावयास एक लहान बल घेऊन जोंपर्यंत त्या चक्राला फार मोठा वेग
प्राप्त होई तोंपर्यंत वारंवार योजावें. असें केलें असतां शेवटीं त्या चक्राचा घेरावर
इतकें मोठें मानाचें बल संचित होईल कीं मूलच्या बलाचा क्रियेशीं प्रकृत बला-
चा क्रियेचें प्रमाण पाहिलें असतां हें बल त्यापेक्षां फारच मोठा प्रतिरोध दूर क-
रील आणि मूलच्या बलाचा कार्यापेक्षां फार मोठ्या मानाचें कार्य उत्पन्न करील.
सारांश. बंदुकेच्या गोळीला दारूच्या एका भरबाराने जी प्रेरणा प्राप्त होती तशा
प्रेरणेला जें बल उत्पन्न करितें तसें बल थोडक्याकालांत मनुष्याचा हाताने मा-
त्र त्या चक्राचा घेराला सहज देतां येईल.

गोफणीने ज्या बलाने धोंडा टाकितां येतो तें बल पूर्वोक्त मूलकारणाव-
रून वर्णिलें जाईल. जोंपर्यंत बलाचें मोठें मान संचित होई तोंपर्यंत ती गो-
फण हाताने अनेक वेळ फिरवून तो धोंडा त्या संचित बलाने टाकिला जातो.

बळकट वेताच्या एका शेवटाशीं शिशाची एक गोळी जोडून वेताचा दु-
सरा शेवट हातीं धरून फळीवर गोळीचा त्वरित मोठा आघात केला असतां
ज्या वेगाने गोळी फळींत शिरती असा वेग त्या गोळीला सहज देतां येईल.

यंत्रामध्ये उड्डीनचक्राला जी स्थिति द्यायाची आहे त्या स्थितीचे स्वा-
धीन उड्डीनचक्राचें कर्तृत्व फारकरून असतें. उड्डीनचक्र जर बलाचा नियम
करावयासाठीं घेतलें तर आदिचालकाचे जवळ त्या चक्राला ठेविलें पाहिजे.
आणि जर शक्तीचा संचयस्थलानुरूप घेतलें तर त्याला कार्यस्थलाचे कांहीं
अधिक जवळ ठेविलें पाहिजे. तथापि त्याची वास्तविक स्थिति कोणती अ-
सावी तिविषयीं कांहीं साधारण नियम सांगतां येत नाहींत.

आदिचालकापासून यंत्राला जें बल प्राप्त होत असतें त्या शिवाय यं-
त्राला उड्डीन चक्राची संचय करणारी शक्ति अधिक बल प्राप्त करिती असें
जाणण्यावरून अनेका मनुष्यांची चूक झाली आहे. अनात्म्य पदार्थाचे आं-

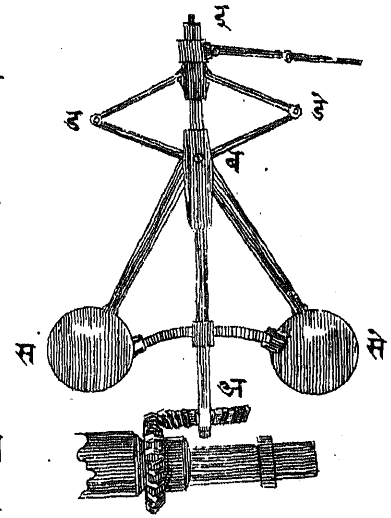
गी

गीं जो स्थैर्यगुण असतो तो आणि जें बल इतर कांहीं साधनापासून त्यास
प्राप्त होतें त्या बलाशिवाय दुसरें कांहीं बल त्याचा आंगीं नसतें असें या
होंचा विचारावरून उड्डीन चक्राचा आंगीं यंत्राला बल द्यायाची शक्ति नाहीं अ
सें स्पष्ट होईल. आणि आदिचालकापासून जें बल उड्डीन चक्राला प्राप्त हो
तें तें सर्व बल तें चक्र कधींही ठेवीत नाहीं. कारण. वायूच्या प्रतिरोध आणि
घर्षणाचें कार्य हीं त्या बलाच्या कांहीं एक अंश घेतात.

उड्डीन चक्र मात्र बलाचें नियामक आहे असें नाहीं. जथे हें चक्र उप
योगांत घेतलें आहे तेथेही कधीं इतर युक्तीचें प्रयोजन पडत असतें. प
दार्थ निर्मितींत प्रायः एक नियमित वेग आहे. या वेगाने यंत्र चाळविलें पा
हिजे. आणि हा वेग जर न्यूनाधिक झाला तर जें कार्य या यंत्राने करावया
चें आहे तें कार्य करावयास हें यंत्र अनुपयुक्त होईल. एकसारिख्या शक्ती
ची योजना करून तिला उड्डीन चक्राचें साहाय्य दिलें असतांही पूर्वोक्त इष्ट
परिपूर्ण होणार नाहीं. जीं यंत्रें कामांत आहेत त्यांतलीं कांहीं यंत्रें मूलयंत्रा
चा सल्लग्नतेपासून काढलीं अथवा दुसरीं यंत्रें मूलयंत्रास सल्लग्न केलीं त
र प्रतिरोध तदनुरूप न्यूनाधिक होईल त्यामुळें यंत्राला चालक शक्तीने न्यू
नाधिक वेग प्राप्त होईल. परंतु तो वेग पूर्वोक्ताप्रमाणे अधिक किंवा कमी
झाल्यानंतर तसल्या वेगाला अधिकत्वाने किंवा न्यूनत्वाने उड्डीन चक्र एक
सारिखा ठेवील इतकें मात्र उड्डीन चक्राचें कार्य आहे.

न्यूनाधिक प्रतिरोधाशीं वेग एकसारिखा ठेवावयास एक फार चां
गली युक्ति उपयोगांत घेतली आहे. तिला नियामक ह्मणतात. हा निया
मक जलवायु इत्यादि चक्रांत योजिला असतो आणि याची योजना प
दार्थनिर्मितीविषयीं जेव्हां वाफयंत्र योजिलें असतें तेव्हां त्या वाफयंत्रांत
फार स्पष्ट दिसती. ज्या मूलकारणाचा स्वाधीन या यंत्राचें कर्तृत्व आहे तें
कारण सहज वर्णितां येईल.

(आ. ९०)



आकृति (९०).या आकृतींत (अब) हा ऊर्ध्वाधर आंस आहे. तो आंस जें (अ) हें तिर्यक्‌दंतचक्र यंत्राचा इतर अवयवांनी प्रेरिलें आहे त्या चकानें फिरविला आहे. आणि उड्डीन चक्राचा वेगाचा प्रमाणांत जो वेग आहे त्या वेगाने फिरे असा तों आंस सर्वदां फिरतो. जे धातूचे दोन गज (अब) या आंसापासून दूर व्हायास शक्य असून (ब) या कीलावर क्रिया करीत असतात त्या गजाशीं (स से) हे दोन वजनशीर. गोळे योजिले आहेत. ते गोळे जसे जसे आंसापासून दूर होतात तसे तसे (डडे) हे संधिही एकमेकापासून दूर होऊन (इ) हा संधि खालीं ओढिला जातो. (इ) हा संधि एका तरफेचा शेवटाला किंवा तरफांचा रचनेला जोडिला आहे. या रचनेचा क्रियेचें वर्णन पुढें लोकरच होईल.

आतां (अब) या आंसाचा फेऱ्याने (स से) या गोळ्यांला आंसापासून दूर व्हावयास प्रेरणा प्राप्त होती. आणि ही प्रेरणा त्याचा भाराने निरोधिली आहे. ती अशीकीं नियामक कोणी एका वेगाने फिरत असतां ते गोळे दूर टांगून रहातील. जा गुणापासून या यंत्राला आपलें सर्व कर्तृत्व प्राप्त होतें तो असा आहे ह्मणजे आंसापासून कितीही अंतराने ह्मणजे कोणत्याही स्थितींत ते गोळे टांगून रहातात आणि आंसाकडे जात नाहींत अथवा आंसापासून पूर्वोक्तापेक्षां दूरही होत नाहींत तर (अब) हा आंस एकाच वेगाने फिरत असतो. त्या वेगाहून मोठा वेग त्या गोळ्यांला अधिक दूर सारावयास आणि त्यापेक्षां लहान वेग त्यांला आंसाकडे जवळ आणावयास कारण होईल.

(इ) हा संधि नमला असतां आदिचालकाचें कर्तृत्व कमी होई आणि

(इ)

(इ) हा संधि उचलिला असतां तें कर्तृत्व अधिक होई अशा प्रकारें जा तरफांला (इ) हा संधि योजिला आहे त्यांची क्रिया आदिचालकावर योजिली असतां वेगाचा विवक्षित एकसारिखेपणा प्राप्त होईल हें स्पष्ट आहे. जा वाफयंत्रावर हा नियामक योजिला आहे त्या यंत्राचा दट्ट्यावर वाफेला जें द्वार येऊं देत असतें त्या द्वाराशीं जा तरफांवर (इ) हा क्रिया करितो त्या तरफांचा संबंध ठेविला आहे असें कल्पावें. आणि जेव्हां (इ) हा उचलिला आहे आणि (ससे) हे गोळे जेव्हां आपल्या आशयांत बसलेअसतात तेव्हां तें द्वार दट्ट्यावर वाफेला मोठ्या प्रवाहाने येऊं देई असें तें उघडलेलें असतें असें कल्पावें. आणि जसा जसा (इ) हा संधि नमविला जातो तसा तसा सतत उत्तरोत्तर लहान्याभानाने वाफेला येऊं देत अशा उत्तरोत्तर त्या तरफा द्वाराला बंद करितात. उदाहरण. वाफयंत्र वीस छापायाचा यंत्राला चालवीत असतां त्यांतल्या दाहा यंत्रांची क्रिया अकस्मात् बंद झाली असें कल्पिलें तर यंत्राचा प्रतिरोध अर्धा कमी होतो आणि वाफेची पूर्वोक्त शक्ति अद्यापि यंत्रांत तशीच येत असती यास्तव यंत्र पूर्वोक्ताचा सुमारें दुप्पट वेगाने चालेल. परंतु जा क्षणी मूलयंत्राला वाढविलेला वेग सांपडला त्याक्षणी (ससे) हे गोळे आंसापासून दूर होऊन (इ) या संधीला खालीं ओढितात आणि द्वाराला थोडकेसें बंदकरून सिलिंडराकडल्या वाफेचा प्रवाहाला कमी करितात. या प्रकारें प्रेरकशक्ति कमी केली असती आणि जा प्रमाणाने प्रतिरोध कमी झाला त्याच प्रमाणाने प्रेरकशक्ति कमी केली तर यंत्र आपल्या पूर्वीचा वेगाने चालेल. आणि ती शक्ति जर पूर्वीअधिक प्रमाणाने कमी झाली तर वेग पूर्वीचा वेगापेक्षां अगोधर अधिक कमी होऊन ते गोळे आंसाकडे पुनः आऊन द्वाराला उघडतील. आणि वाफ सिलिंडरांत नेली असतां गोळ्यांचा जा स्थितींत ती यंत्रावरचा प्रतिरोधाचा प्रमाणांत होईल अशा स्थितींत ते गोळे शेवटीं स्थिरावतील. आणि या प्रमाणे अनु-

रूप

रूप वेग पुनः प्राप्त होईल.

यास्तव भार ह्मणजे प्रतिरोध प्रतिक्षणीं कसाही बदलला तथापि प्रतिरोध जसा जसा बदलतो त्या प्रमाणे प्रेरक शक्तिही बदलत असती यास्तव या अपूर्व युक्तीने वेग सतत एकसारिखा रहातो.

यंत्राची गति नियमित करावयास अनेक इतर युक्ति आहेत त्यांतली एक घड्याळाच्या लंबक आहे. त्यांच्या विचार एथे ग्रंथ विस्तार भयास्तव पुढें चालणार नाहीं.

भाग १३

गतीला रूपांतर द्यावयास ज्या शिल्पयुक्ति आहेत त्याविषयीं

(१०४) यंत्रांनी जे मोठे उद्देश प्राप्त करावयाचे आहेत त्यांतला एक उद्देश गतीचा परिणाम ह्मणजे तिचें रूपांतर हें आहे असें बहुत वेळ पूर्वी सांगितलें. आतां जेव्हां कार्यस्थलावर वर्तुलगति पाहिजे तेव्हां प्रेरकशक्ति कदाचित् सरल असती किंवा जेव्हां कार्यस्थलावर बल सतत एकसारिखें असावें तेव्हां प्रेरकशक्ति कदाचित् गमनापसरणारूप असती. याविषयीं साधारण सांगतो कीं प्रेरकशक्तीची गति एका जातीची असेल आणि जी गति कार्यस्थलावर पाहिजे ती दुसऱ्या कोणी एका जातीची असेल तर कोणी एक जाणिलेली प्रेरकशक्ति आणि कार्यस्थल या उभयतांचामध्ये कार्यस्थलावर विवक्षित कार्य उत्पन्न करी असें जें एक यंत्र योजिलें पाहिजे त्या यंत्राच्या स्वभाव दाखविणें हें एक फार मोठें कृत्य आहे.

सामान्यरूपाने पाहिलें असतां हें कृत्य उघड करावयास अशक्य आहे. आणि प्रेरक शक्तीला ज्या निरनिराळ्या गति असतात त्या गणावयासही अवघड आहेत. आणि कार्यस्थलावर त्या गतींनी ज्या अनेक इतर गति उत्पन्न केल्या पाहिजेत त्याही मोजावयास अवघड आहेत. तथापि सामान्यतः

न्यतः पाहिलें असतां जा गति यंत्राचा उपयोगांत पडतात त्या प्रायः सरलआणि वर्तुल आहेत अशा नियमिल्या जातील. सरल ह्मणजे जा गतींत चालणाऱ्या भागांचे बिंदु समांतर सरलरेषा करितात त्या जाणाव्या आणि वर्तुळ ह्मणजे जा गतींत ते बिंदु एक साधारण केंद्र किंवा आंस कल्पून त्याचे भोंवतीं वर्तुलाचा रेषांत चालतात त्या जाणाव्या. या पुनः सतत आणि गमनापसरण या भेदेंकरून दोहों जातींचा झाल्या आहेत ह्मणजे जो बिंदु सरल रेषेंत चालतो तो त्याच दिशेंत सतत चालेल आणि पुढें जाऊन तसाच मागें येईल अथवा वर जाऊन तसाच खालीं येईल ह्मणजे जा सरलरेषेंत तो चालतो त्या सरल रेषेवरचा आद्यंत बिंदूंनी या गमनापसरण क्रियेचा प्रदेश अवधित केला आहे- पुनः तो बिंदु जर वर्तुलांत फिरतो तर तो सतत वर्तुल गतीने केंद्राचे भोंवतीं त्याच दिशेंत सतत फिरेल अथवा त्या वर्तुळाचा एका धनुष्यावर एकाच दिशेंत चालून त्याच धनुष्यावरून समोरचा दिशेंत परत येईल आणि या प्रकारें उलट्या सुलट्या गतीने चालेल ह्मणजे वर्तुलाचा धनुष्यांत आंदोलन करील.

जा गतींचा विचार करावयाचा आहे त्या वक्ष्यमाण प्रकारचा चार जातींचा आहेत.

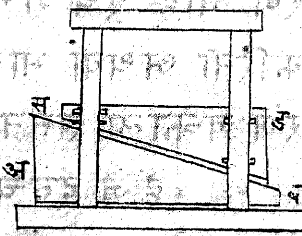
१ सतत सरल गति
२ गमनापसरण सरल गति
३ सतत वर्तुल गति
४ गमनापसरण वर्तुल गति

जा युक्तींनी यांतल्या गति रूपांतर पावून दुसऱ्या जातींचा होतील त्यांतल्या कांहीं युक्तींचें वर्णन प्रकृत भागांत करितो.

(१०९) एका दिशेंत जी सतत सरल गति आहे तिला दुसऱ्या कोणत्या दिशेंतली सतत सरल गति होई अशी तिला करण्याचा प्रकार.

सपाटीत पाहिजे.

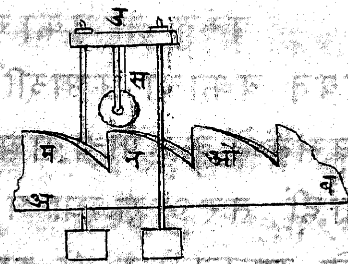
(९१) आकृतींत एक युक्ति दाखविली आहे. हिचा योगाने एका दिशेंतल्या सरल गतीपासून त्या गतीचा दिशेशीं काटकोनाचा दिशेंत इतर सरल गति उत्पन्न केली आहे. (अब) ही उतरण ह्मणजे पाचर (सड) याचा खालीं नेरिली आहे. (सड) या उतरणीला अडकणें लावून चौकटीचा खांबांला योजिली आहे. आतां जशी (अब) ही उतरण (अ) यापासून (ब) याकडे जाती तशी (सड) ही ऊर्ध्वाधर दिशेंत वर जाती.



वारा गलबतांचा शिडांवर एका दिशेंत क्रिया करीत असतां त्या गलबताला दुसऱ्या दिशेंत सरल गति देतो.

(१०६) सतत सरल गतीला गमनापसरण सरल गति करण्याचा प्रकार.

(अब) ही एक सांखळी आहे. तिला (भ न ओ) (आ. ९२) हे पक्ष आहेत. (ड) ही एक चौकट आहे. तिला वजनें योजिलीं आहेत आणि (स) हें चक्र जोडिलें आहे. या चौकटीला ऊर्ध्वाधर गति शिवाय दुसरी गति देतां येत नाहीं अशी ती योजिली आहे. ती सांखळी (अब) या दिशेंत सतत चालविली असती यास्तव (स) हें चक्र सांखळीचा पक्षांचा पृष्ठावर जात असतां ती चौकट उचलिली जाईल आणि प्रत्येका पक्षाचें अग्र क्रमिलें असतां जो प्रदेश हा क्रमिलेला पक्ष आणि त्याचा पुढला पक्ष यांचामध्ये आहे त्या अंतरांत पडेल. त्या प्रकारें (ब) या चौकटीला



कटीला वरची आणी खालची सरल गति प्राप्त होईल.

(१०७) एका सतत सरल गतीला एक सतत वर्तुल गति करण्याचा प्रकार अथवा याचें विपरीत करण्याचा प्रकार.

हें करायास नानाविध रीति आहेत. अक्षचक्र याचें एक स्पष्ट उदाहरण आहे. एथे शक्तीची सतत वर्तुल गति भाराचें सतत सरल चढणे उत्पन्न करिती अथवा भाराला खालीं उतरूं दिला असतां त्याचें सतत सरल उतरणे चक्राला सतत वर्तुल गति देईल.

हें जें दंतचक्र दंताळ्यामध्ये क्रिया करितें त्याणेही करितां येईल. दांताळें ह्मणजे जा सरल गजावर दांत केले आहेत तें आहे. जर असा गज जा चक्रावर तुल्य दंत केले आहेत त्याशीं सल्लग्न ठेविला तर दांताळ्याची सतत सरल गति चक्राच्या सतत वर्तुल गतीला उत्पन्न करील. आणि याचें विपरीतही करितां येईल.

वादी चक्रावर योजिली असतां पृष्ट किंवा जा खंचणींत वादी क्रिया करिती त्याशीं तिचा घर्षणाने तें चक्र जर फिरविलें आणि प्रतिरोध फार मोठा नसला तर तोच परिणाम प्राप्त होईल. अनंत वादी उपयोगांत घेतां येती अशी घेतली तर दोहों चक्रांचें प्रयोजन पडतें.

परंतु जा प्रकारांत मोठा प्रतिरोध दूर करावयाचा आहे त्यांत पूर्ववत् चक्राचा पृष्ठाशीं जें वादिचें घर्षण असतें तें बल प्रेरकाया स समर्थ होणार नाहीं तर असल्या प्रकारांत सांखळी आणि ग्राहकचक्र हीं उपयोगांत घेतलीं पाहिजेत. कधीं कधीं सांखळी चक्रांतल्या खुंट्योंला अथवा आंकड्यांला (१३) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणे धरिती आणि कधीं सांखळींतच खुंट्या असतात.

(आ. १३) (आ. १४)

हरण साधारण मळसूत्रांत स्पष्ट आहे. एथे शक्ति मळसूत्राचा माथ्यावर योजिली असतां ती सतत वर्तुल गतीने चालती आणि मळसूत्र स्वतः सतत सरल गतीने चालतें.

वाफेचा गलबताचीं पक्षचक्रें आणि अधराहत जलचक्रें हीं दोन्हीं क्रमेंकरून वर्तुलगतीने उत्पन्न झालेली सतत सरल गति आणि सतत सरल गतीने उत्पन्न झालेली सतत वर्तुल गति यांचीं उदाहरणें आहेत.

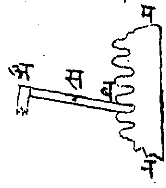
ऊर्ध्वाहत जलचक्र अथवा पार्श्वाहत जलचक्र हीं सतत सरल गतीने उत्पन्न झालेल्या सतत वर्तुल गतीचीं उदाहरणें आहेत. आणि पवनचक्राचा भुजांवर वायु क्रिया करीत असतां याच जातीचें एक इतर उदाहरण आहे.

एका सतत वर्तुल गतीने उत्पन्न झालेल्या सतत सरल गतीचें एक उदाहरण आर्कमीडिस् याचें मळसूत्र आहे. या विषयीं जलशक्तिविज्ञानाचा दुसऱ्या भागांत पाहावें.

(१०८) सतत सरल गतीला गमनापसरण वर्तुल गति किंवा याचें विपरीत करण्याचा प्रकार.

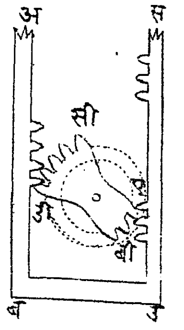
हें करायाची एक रीति अशी आहे ह्मणजे (९९) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें (मन) या दांताळ्याचा दंतांत (अब) या तरफेचा (ब) हा शेवट क्रिया करितो आणि जसें जसें (मन) हें दांताळें खालीं येतें तसा तसा तरफेचा शेवट एका दंतापासून दुसऱ्या दंतावर जातो आणि (अ) हा शेवट वर्तुलाचा एका लहान्या धनुष्यांतून वारंवार वर खालीं असा चालतो.

(आ. ९९)



सतत

सतत सरल गतीपासून गमनापसरण वर्तुल गति उत्पन्न करणे किंवा गमनापसरण वर्तुल गतीपासून सतत सरल गति उत्पन्न (आ. ९६) करणे यांतील अन्यतर उत्पन्न करायाची रीति (९६) आकृतींत दाखविली आहे. (अबसड) हें दुहेरी दांताळें आहे. याला एकांतरित दंत केले आहेत ह्मणजे (अब) याचा ज्या भागांला दंत आहेत ते भाग (सड) याचा ज्या भागांला दंत नाहींत त्यांचा समोर आहेत. (एबीसीडी) हें एक चक्र आहे. याला दांताळ्याचा दंतांशीं अनुरूप होत असे दंत आहेत. दांताळें आपल्या वरचा स्थितींत आहे आणि चक्राचा (बी) हा पहिला दंत (सड) या दांताळ्याचा सर्वांहून खालचा दंताशीं सलग्न आहे असें कल्पावें. आतां जसें जसें तें दांताळें खालीं उतरतें तसे तसे (एब) हे दंत दांताळ्याचे जे दंत त्यांशी अनुरूप आहेत त्यांला अनुक्रमे धरितात. आणि जोंपर्यंत (ए) हा शेवटला दंत (सड) या दांताळ्याचा दंतांचा पहिल्या वर्गाचा शेवटल्या दंतावरून क्रमील तों पर्यंत तें चक्र फिरतें. या कालीं चक्राचा दुसऱ्या बाजूवरचा (डी) हा जो खालचा दंत आहे तो (अब) या दांताळ्याचा दंतांचा पहिल्या वर्गाचा सर्वांहून खालचा दंताला धरितो. नंतर (डीसी) हे दंत दांताळ्याचा दंतांशीं अनुक्रमे सलग्न होतात आणि तें चक्र आपल्या पूर्वीचा गतीचा विरुद्ध दिशेंत फिरतें आणि जसें जसें तें दांताळें खालीं येतें तशी तशी चक्रावर गमनापसरण वर्तुल गति उत्पन्न होत असती.



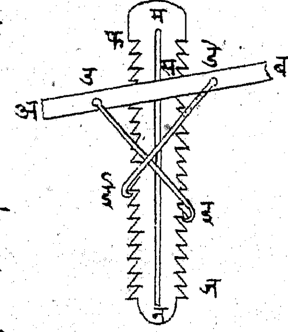
जा सांखळ्यांला एकांतरित दंत असून जा ग्राहकचक्राचा दोहों जोडयांवर क्रिया करित असतात अशा दोन सांखळ्या उपयोगांत घेतल्या असतां निरंतर गति उत्पन्न करितां येईल.

ला-गरूस साहेबाची तरफ एक युक्ति आहे. हिचा योगाने गम

नापसर

नापसरण वर्तुल गतीने सतत सरल गति उत्पन्न होती. (९७) आकृति. याआकृतींत (मन) ही एक स्थिर गजी आहे. हिवर (स) हें केंद्र कल्पून (अब) ही तरफ क्रिया करीत असती. (फज) हें एक दांताळें ऊर्ध्वाधर दिशेंत उचलितां येई असें आहे. तें (डडे) या संधींवर जे (डइ) आणि (डेई) हे गज जोडिले आहेत त्यांणी उचलिलें जातें. जेव्हां (अ) हा शेवट खालीं येतो तेव्हां (डे) हा बिंदू वर जातो. आणि (ई) हा आंकडा दांताळ्याचा एका दंताला धरीत असतो यास्तव दां-

(आ. ९७)



ताळ्याला वर ओढीत असतो. ही क्रिया होत असतां (इ) हा आंकडा दांताळ्याचा एका दंतापासून त्या दंताचा खालीं जो दुसरा दंत आहे त्यावर जातो. आतां जेव्हां (ब) या शेवटाला खालीं नमविला आणि (ड) हा वर नेला तेव्हां तसेंच कार्य घडतें परंतु तें दांताळ्याचा दुसऱ्या बाजूवर घडतें.

एथे (अब) या तरफेची गमनापसरण वर्तुल गति (फज) या दांताळ्यावर सतत सरल गतीला उत्पन्न करिती. सतत सरल गति हें नाव एथे जी सरल गती सर्वदां एकाच दिशेंत असती तिला सुचविसें. कारण. वास्तविक पाहिलें असतां गति सतत नाहीं ती एकांतरित आहे.

(१०९) जी गमनापसरण सरल गति एका दिशेंत असून एका वेगाची आहे ती दुसऱ्या दिशेंत असून दुसऱ्या वेगाची गमनापसरण सरलगति होई अशी करण्याचा प्रकार

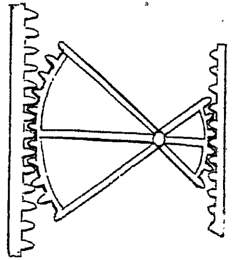
जर मूलची गति आणि बदलेली गति या दोहोंचे वेग समान असले आणि त्यांचा दिशा एकाच सपाटींत असल्या तर ती दिशा एका चक्रावर वादी योजून बदलितां येती. स्पष्टार्थ. त्या चक्राचा एका बाजूवरचा वादीचा भाग एका दिशेंत क्रिया करितो आणि इतर बाजूवरचा वादीचा भाग दुसऱ्या दिशेंत क्रिया करितो यास्तव ती दिशा बदलती. वादीचें घर्षण पूर्तें न-

सलें

सलें तर सांखळी आणि ग्राहकचक्र हीं उपयोगांत घ्यावीं आणि जर दिशा निर्निराळ्या सपाटींत असल्या तर दोन चक्रें योजिलीं पाहिजेत.

परंतु जर वेगही निर्निराळे असले तर दिशा बदलायासाठीं इतर युक्ति योजायास लागतील. जर त्या दोन्हीं दिशा एकाच सपाटींत असल्या तर एकाच आंसावर दोहों चक्रांचे जे दोन सेकटर* क्रिया करितात त्यांणी दोन दांताळीं प्रेरितां येतील. या सेकटरांचीं मानें त्या दोहों वेगांचे प्रमाणांत असतात. असें यंत्र (९८) आकृतींत दाखविलें आहे. परंतु जर त्या दोन दिशा निर्निराळ्या सपाटींत असल्या तर तिर्यक् दंत चक्राचा सहाय्यतेने एका दांताळ्यापासून दुसऱ्या दांताळ्यापर्यंत गतीला पोंचविली पाहिजे.

(आ. ९८)



दांताळ्याचा असल्या प्रकारांत ग्राहक चक्रें आणि सांखळ्या उपयोगांत घेतां येतील हें स्पष्ट आहे.

(११०) गमनापसरण सरल गतीला सतत वर्तुल गति आणि याचें विपरीतही करण्याचा प्रकार.

हीं कार्यें उत्पन्न करायाचा रीति पुष्कळ आहेत. सतत वर्तुल गतीने गमनापसरण सरल गति वक्ष्यमाण प्रकारें उत्पन्न करितां येईल ह्मणजे जा चक्राचा घेराला पक्ष आहेत तें चक्र जिला भुज ह्मणजे खुंटी लाविली असती अशी ऊर्ध्वाधर तुळई अथवा एक मुसळ घेऊन त्याशीं संलग्न केलें असतां त्या खुंटीचा योगाने प्रत्येक पक्ष चक्राचा फेऱ्याने मुसळाला उचलितात आणि जेव्हां पक्षापासून ती खुंटी सुटती तेव्हां तें मुसळ खालीं पडतें. नंतर तें मुसळ पुटल्या पक्षाने पुनः उचलिलें जातें. या प्रकारें क्रिया पुनःपुनः होत असती.

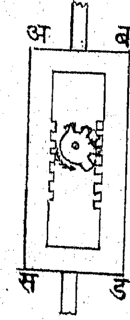
आणि ऊर्ध्वाधर मुसळाचा एका शेवटावर दांताळें करून जा चक्रा

* सेकटर ह्मणजे वर्तुलाचा कोणीएका धनुष्याचा दोहों शेवटांपासून केंद्रापर्यंत दोन अ काढून जी आकृति उत्पन्न होती ती.

चा घेराचा एका भागावर मात्र दंत आहेत त्या चक्राशीं सलग्न केलें असतां जों पर्यंत दांताळ्याशीं त्या चक्राचा दंतकेलेला भाग सलग्न असतो तोंपर्यंत तें मुसळ उचलिलें जाईल आणि जा कालीं चंक्राचा शेवटला दंत दांताळ्यापासून सुटेल त्या कालीं तें मुसळ पडतें आणि जेव्हां चक्राचे दंत दांताळ्याला पुनः धरितात तेव्हां तें मुसळ पुनः उचलिलें जातें आणि याप्रकारें गति होत असती.

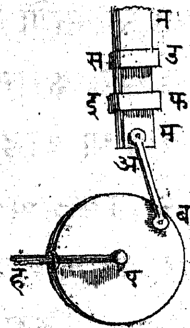
या प्रकारांत दांताळ्याची एका दिशेंतली गति आपल्या भाराने उत्पन्न होती ह्मणजे जा मुसळाला दांताळें जोडिलें आहे त्याचा भाराने होती. दांताळ्याचा दोन्हीं गति चक्राने स्वतः उत्पन्न करावयास सहज येतील.

(आ. ९९)



जा चक्राला एका भागावर मात्र दंत आहेत त्या चक्राने जें दुहेरी दांताळें प्रेरिलें असतें तें (९९) आकृतींत दाखविलें आहे. (बड) या दांताळ्यापासून (प) हें चक्र पूर्वीं मोकळें असतां जसें तें चक्र त्याचा तीराचा दिशेंत फिरविलें असतें तसे त्या चक्राचे दंत (अस) या दांताळ्याचा दंतांमध्ये क्रिया आरंभून दांताळ्याला खालीं चेपितात. जेव्हां चक्राचा शेवटला दंत (अस) या दांताळ्यावरून गेला तेव्हां ती खालचाकडली गति बंद होईल आणि चक्राचे दंत (बड) या दांताळ्याचा दंतांशीं लागतील. त्यामुळें तें दांताळें उचलिलें जाईल. आणि (प) या चक्राची वर्तुल गति त्याच दिशेंत पुढें चालविली असतां दांताळें वर आणि खालीं एकांतरित प्रेरिलें जाईल.

(आ. १००)

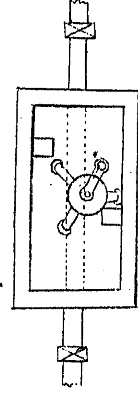


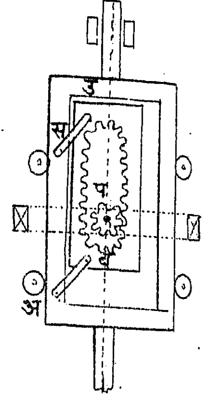
(१००) आकृतींत जी सहज रीति दाखविली आहे त्या रीतीनेही हें कार्य केलें जाईल. एथे (मन) ही गजी आहे. ती (सड) आणि (इफ) या अडकणांचा मधून चालती. (अब) हा गज (अ) आणि (ब) एथे संधि किंवा कील यांवर चालतो आणि (ए) हें एक चक्र आहे. तें (एह) या चिंचेने अथवा कोणी एका इतर युक्तीनें फिरविलें आहे. जसें चक्र फिरतें तसा (अब) हा गज एकांतरित वर

खालीं

खालीं असा प्रेरिला जातो. येणेकरून (मन) ही गजी त्या अडकणांचा मधून वर आणि खालीं चालती.

(आ·१०१) (आ·१०२)



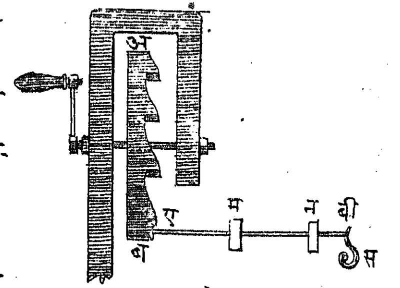


(९९) आकृतींत जी रीति दाखविली आहे त्या सारिखी एक रीति (१०१) आकृतींत आहे. एथे प्रत्येका दांताळ्याला एक एक दंत आहे. या प्रकारांत (९९) आकृतीप्रमाणें चक्राचा खुट्या ह्मणजे दंत दांताळ्याला एकांतरित उचलितात आणि नमवितात.

तेंच कार्य उत्पन्न करावयास एक चमत्कारिक युक्ति (१०२) आकृतींत दाखविली आहे. एथे (प) हा पत्राक्ष दांताळ्याचा एका बाजूवर क्रिया करीत असतां अर्धवर्तुलाकार शेवटाचा दंतावर क्रिया करितो. तेणेकरून तो पत्राक्ष दांताळ्याला थोडकी आडवी गति देतो. असल्या गतीला (अब) आणि (सड) या संधि अनुकूल आहेत. नंतर तो पत्राक्ष समोरचा बाजूवर दांताळ्याचा दंतांला धरून पूर्वींचा समोरचा दिशेंत दांताळ्याला प्रेरितो. आणि याच प्रकारें तें कार्य उत्तरोत्तर घडतें.

सतत वर्तुल गतीने गमनापसरण सरल गति उत्पन्न करावयाची एक युक्ति (१०३) आकृतींत दाखविली आहे. एथे (अब) हें एक चक्र आहे. तें चिंचेने अथवा कोणी एका इतर युक्तीने फिरविलें आहे. आणि त्याला समांतरदंतचक्राप्रमाणे दंत आहेत. त्या दंताचा आकार प्रसंगानुरूप करीत असतात. (एबी) हा गज (म) आणि (न) या अडकणांचा मधून खेळतो आणि त्याचा एक शेवट चक्राचा दंतावर चेपीत असतो आणि दुसरा शेवट (स) या कमानीवर चेपीत असतो. जसें चक्र फिरविलें जातें तसा तो गज त्या दंतांनी (एबी) या दिशेंत प्रेरिला जातो. आणि जसा प्रत्येका दंताचा अग्रावरून पुढें पुढें

(आ·१०३)



जातो

जातो तसा तो कमाणीने (बी ए) या दिशेंत परतविला जातो. या स्तव (अ ब) याग-
जाला गमनापसरण सरल गति प्राप्त होती. जुरिडा साहेबाने कापड विणायाची
फणी करायासाठीं चर्मीला छिद्रें करायास हें यंत्र योजिलें आहे आणि जाळीं
विणायासाठीं हें यंत्र घेत असतात.

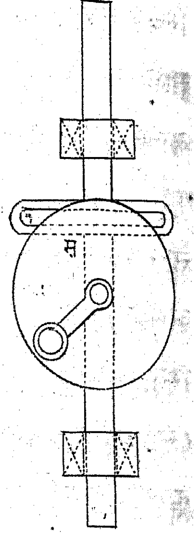
सतत वर्तुल गतीला गमनापसरण सरल गति करायास जुरिडा साहे-
बाने एक चमत्कारिक यंत्र योजिलें आहे. तें असें. एका स्थिर चौकटीमध्ये की-
लांवर एक सिलिंडर ठेविलें आहे. आणि तें विंचेने अथवा इतर युक्तीने आपल्या
आंसावर फिरविलें आहे. या सिलिंडराचा पृष्ठावर मळसूत्राकार खंचणी केली
आहे. या खंचणीचा शेवट सिलिंडराचा जा शेवटावर होता तेथे या खंचणी
सारिखी दुसरी खंचणी आरंभून सिलिंडरावर विपरीत दिशेंत चालून पूर्वी
चा खंचणीला सिलिंडराचा दुसऱ्या शेवटावर येऊन भेटून दोन्हीं एक झाल्या
आहेत. जी सरल गजी सिलिंडरावर आपल्या लांबीशीं समांतर दिशेंत ठेवि-
ली आहे तिचर जी खंचणी एका शेवटापासून दुसऱ्या शेवटापर्यंत केली आ-
हे त्या खंचणींत एक उभी खुंटी ठेविली आहे. त्या खुंटीचा दुसरा शेवट सिलि-
डरावरचा त्या खंचणींत चालत असतो. असें जसें सिलिंडर आपल्या आंसावर
फिरवावें तशी ती खुंटी त्या मळसूत्राकार खंचणींत चालून गजीचा एका शे-
वटापासून दुसऱ्या गजींत केलेल्या खंचणींत शेवटापर्यंत प्रेरिली जाती आ-
णि जेव्हां सिलिंडराचा शेवटावर येती तेव्हां जा मळसूत्राकार खंचणींत
पूर्वी चालत होती तींतून दुसऱ्या खंचणींत जाऊन चालून पुनः मागे यती.
या प्रकारें ती खुंटी. सरल गजीचा एका शेवटापासून दुसऱ्या शेवटाकडे
चालत असती.

असलें कृत्य करायास एक फार सोपी युक्ति (१०४) आकृतींत दाख-
विली आहे. (अ ब) हें एक चक्र आहे. तें (ह) या विंचेने अथवा अन्य युक्तीने
फिरविलें आहे. (एबी) ही एक गजी आहे. ती (मन) या अडकणांत चालती. या

गजीला

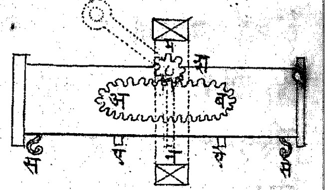
गजीला (डइ) हा आडवा तुकडा जोडिला आहे. त्यांत (पपी) ही खंचणी केली आहे. जी (स) ही खुंटी (अब) या चक्रापासून निघती ती त्या खंचणींत शिरविली आहे. जसें चक्र फिरतें तशी (स) ही खुंटी खंचणींत (प) यापासून (पी) यापर्यंत आणि (पी) यापासून (प) यापर्यंत अशी चालत असती. आणि (एबी) या गजीला (मन) या अडकणांमध्ये वर उचलिती आणी खालीं नमविती. (एबी) या खंचणींत (स) या खुंटीची ऊर्ध्वाधर क्रिया विषम आहे यास्तव (दइ) या गजीला विषम गति देती. खुंटीची क्रिया चांगली एकसारिखी होई अशा खंचणीचा बाजू योग्य वक्ररेषायुक्त केल्या असतां तो दुर्गुण दूर करितां येईल.

(आ· १०४)



एक दुसरी फार चमत्कारिक युक्ति (१०५) आकृतींत दाखविली आहे. जाचे दोन्हीं शेवट वर्तुलाकार आहेत असें (अब) हें एक दुहेरी दांताळें जी गजी आपल्या लांबीचा दिशेंत चालायास शक्य आहे तिला जोडिलें आहे. जी (मन) ही खंचणी आंडव्या तुकड्याला केली आहे तींत चालणाऱ्या (श) या पत्राक्षाने तें दांताळें प्रेरिलें असतें. पत्राक्ष (ब) या शेवटावर येई तोंपर्यंत त्याने दांताळें आणि गजी यांला चालविलीं असतां (ए) ही खुंटी (स) या कमाणीला लागली यास्तव तें दांताळें पत्राक्षावर चेपिलें जातें. आतां पत्राक्ष दांताळ्याचा वर्तुलाकार शेवटावर क्रिया करीत असतां जोंपर्यंत दांताळ्याचा खालचा बाजूवर क्रिया करून गजीला समोरचा दिशेंत परत चालवितो तोंपर्यंत (मन) या खंचणींत खालीं चेपिला जातो आणि त्या प्रकारें गति पुढें होत असती.

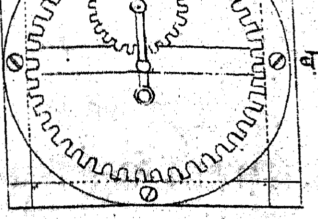
(आ· १०५)



एक इतर चांगली युक्ति (१०६) आकृतींत दाखविली आहे. एथे

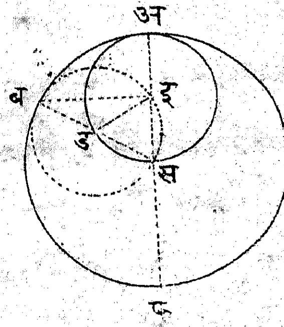
(अब)

ळ दंत आहेत. हे दंत त्या स्थिर चक्राचे [illegible] करितात. जसें (स) हें चक्र आपल्या आंसावर फिरविलें तसें तें (अब) या चक्राच्या आंतल्या घेरावर चालतें आणि (स) हें केंद्र स्थिर चक्राचा केंद्राभोंवतीं वर्तुल करितें. आतां (स) या चक्राच्या घेरावरचा कोणी एक बिंदु (स) या चक्राच्या एका फेऱ्यांत (अब) या चक्राचा व्यासावर क्रमील. आणि त्याचा दुसऱ्या फेऱ्यांत त्याच व्यासावरून परत जाईल. हा प्रकार भूमितीचा रीतीप्रमाणे वक्ष्यमाण प्रकारें स्पष्ट केला जाईल.



(१०७) आकृति. या आकृतींत (स) हें स्थिर चक्राचें केंद्र आहे. आणि फिरणाऱ्या चक्राची मूळची स्थिति (अस) आहे. आतां फिरणाऱ्या चक्राला (सब) ही स्थिति प्राप्त होई तोंपर्यंत (अब) या धनुष्यावर लोटूं द्यावें. नंतर लहान्या चक्राचा जो भाग (अब) याशीं समान आहे तो (अब) यावरून लोटून गेला असें स्पष्ट आहे. आणि भूमितीचा मूळकारणावरून असें स्पष्ट आहे कीं मोठ्या चक्राचा व्यास लहान्या चक्राचा व्यासाशीं जसें प्रमाण ठेवितो तसें प्रमाण जो कोन (असब) या कोनाशीं ठेवितो तसा कोन लहान्या चक्राचें धनुष्य जें (अब) या धनुष्याशीं समान आहे तें धनुष्य आपल्या केंद्रावर करितें. म्हणजे दोन यांस एक असें प्रमाण. यास्तव लहान्या चक्राचें जें धनुष्य (अब) यावरून लोटून गेलें तें लहान्या चक्राचा केंद्रावर (असब) या कोनाचा दुप्पट कोन करितें. जा बिंदूवर लहान चक्र (बस) या स्थितींत असतां (सअ) याला छेदितें त्या

(आ. १०७)



त्या बिंदूकडे (बइ) ही रेषा काढावी. आणि लहान्या चक्राचा केंद्रापासून (डइ) ही रेषा काढावी. आतां (बडइ) हा कोन (बसअ) याकोनाचा दुप्पट आहे यास्तव ल्हान्या चक्राचें (बइ) हें धनुष्य मोठ्या चक्राचा (बअ) या धनुष्याशीं समान आहे. यास्तव (बअ) या धनुष्यांवरून जें धनुष्य लोटून गेलें तें (बइ) हें आहे. आणि गतीचे प्रारंभीं लहान्या चक्राचा जो बिंदु (अ) एथे होता तो (इ) हा आहे आणि तो आतां (अब) या रेषेवर आहे. याच प्रकारें लहान्या चक्राचा प्रत्येक स्थितींत तोच बिंदु (अफ) या व्यासांवर सांपडतो असें ठरविलें जाईल. जेव्हां लहान चक्र मोठ्या चक्राचा चतुर्थांश भागावरून लोटत गेलें तेव्हां (स) याकेंद्रावर तो बिंदु सांपडतो. आणि जेव्हां त्याचा अर्धावरून लोटत गलें तेव्हां तो बिंदु व्यासाचा (फ) या दुसऱ्या शेवटावर सांपडतो. आणि लहान चक्र मोठ्या चक्राचा दुसऱ्या अर्धावरून लोटत जातें तेव्हां तो बिंदु (फअ) या व्यासावरून (अ) याकडे परत येतो. सारांश. तो बिंदु (अ) यापासून (फ) याकडे आणि (फ) यापासून (अ) याकडे असा चालतो.

सततवर्तुलगतीने गमनापसरण सरल गति उत्पन्न करायासाठीं विंचेने प्रेरिलेलें क्रांक एक फार सोपी आणि स्पष्ट युक्ति आहे. क्रांकाला एक दोरी जोडून एका बैठ्या कपीवरून सोडून तिला एक वजन बांधिलें असतां विवक्षित कार्य सिद्ध होईल. स्पष्टार्थ. जसें जसें क्रांक फिरतें तसें तसें तें वजन सरल रेषेंत वर आणि खालीं चालतें हें स्पष्ट आहे.

क्रांकाला एका गजाचा एक शेवट जोडून जी गजी अडकणांत चालत असती तिला दुसरा शेवट एका संधीने जोडिला तर त्या गजीला गमनापसरण सरल गति प्राप्त होईल. या प्रकारें कोणत्याही जातीचा बंबाचा दट्ट्याला सतत वर्तुल गतीने प्रेरितां येईल.

जा साधारण यंत्राला एक्संत्रिक ह्मणतात त्याणे उक्तसारिखें कार्य उत्पन्न करितां येईल. याची युक्ति अशी आहे ह्मणजे एक धातूची वर्तु

ल कडी आहे. तिचे आंतलें पृष्ट पूर्ण गुळगुळीत आहे. जी सरल गजी अडकणां-
त चालत असती तिला ही कडी एक गज आणि संधि यांणी जोडिली आहे. क-
डीचा आंत फिराया जोगें एक वर्तुलाकार धातूचें पत्र कडींत योजिलें आहे. क-
डी आणि पत्र याचीं जीं पृष्ठें सल्लग्न असतात तीं पूर्ण गुळगुळीत असून त्यां-
ला वंगण लावीत असतात. हें वर्तुल पत्र त्या कडींत फिरतें परंतु आपल्या कें-
द्रावर फिरत नाहीं तें जो आंस आपल्या केंद्रापासून कांहीं अंतरावर आहे त्या
वर फिरतें. त्याचें कार्य असें आहे ह्मणजे जा कडींत तें फिरतें ती कडी गमनाप-
सरण चालती. आणि ती कडी किंवा वर्तुलाकार पत्र यांचा साधारण केंद्रापा-
सून त्या आंसाचें जें अंतर आहे त्याचा दुप्पट प्रदेशांतून चालती. ही युक्ति ग-
ज आणि संधि यांचा योगाने जी गजी अडकणांत क्रिया करीत असती तिव-
र गमनापसरण सरल गति प्राप्त करिती.

(१११) गमनापसरण सरल गतीला गमनापसरण वर्तुल गति आणि या-
चें विपरीतही करण्याचा प्रकार.

जीं गतींचीं रूपांतरें यंत्रांनी होतात त्यांतलें सर्वांहून उपयोगी आणि
मोठें असें हें प्रकृत रूपांतर आहे. त्याजकडे फारच लक्ष्य दिलें पाहिजे.

जा गजीचा एका शेवटावर धनुष्याकार दंतपंक्तीने युक्त असा मस्तक
असून ते दंत एका दांताळ्यावर क्रिया करीत असतात आणि जिचा दुसरा शेव-
ट वर्तुल धनुष्यांत गमनापसरण गतीने चालत असतो ती गजी त्या दांताळ्या-
ला सरलरेषेंत गमनापसरण गतीने प्रेरिती.

गजीचा त्या धनुष्याकार मस्तकावर सांखळी योजून तिशीं एक वजन
योजिलें आणि गजीचा दुसरा शेवट वर्तुल धनुष्यांत गमनापसरण गतीने प्रे-
रिला तर तें वजन सरल ऊर्ध्वाधर रेषेंत खालीं वर असें चालेल.

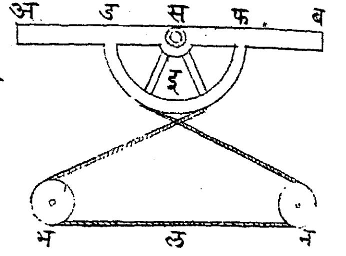
वात वाफयंत्रांत त्या सांखळीचें तें एक उदाहरण स्पष्ट आहे आणि वाट सा-
हेबाचा प्राचीन दुहेरी क्रिया करणाऱ्या वाफयंत्रांत त्या दांताळ्याचा युक्तीचें उदाहर-

ण

ण स्पष्ट आहे.

असलें रूपांतर करायाची एक इतर चांगली रीति (१०८) आकृतींत दाखविली आहे. (अब) ही एक तरफ आहे. ती (स) या केंद्रावर फिरती. (डइफ) हें एक अर्धचक्र आहे. याला आपल्या (डफ) या शेवटांवर एक दोरी किंवा वादी जोडिली आहे. ही जशी आकृतींत दाखविली आहे तशी (म) आणि (न) या चक्रांवर योजिली आहे. तरफेचा (अ) आणि (ब) या शेवटांची गमनापसरण वर्तुल गति कोणी एक (ल) असा जो बिंदु दोरीवर कल्पिला आहे अथवा त्याशीं संबद्ध केला आहे त्या बिंदूवर गमनापसरण सरल गति उत्पन्न करील आणि त्याचें विपरीतही घडेल.

(आ. १०८)



घड्याळ करणारे आणि इतर कारिगार छिद्रें करायासाठीं जी साधारण कमाण घेतात ती याचें एक उदाहरण आहे. जें लहान चक्र सामत्यावर जोडिलें असतें त्यावर कमाणीची दोरी एक वेट्याने गुंडाळीत असतात. एथे कमीणीची गमनापसरण सरल गति चक्रावर गमनापसरण वर्तुल गति उत्पन्न करिती.

गमनापसरण सरल गतीला गमनापसरण वर्तुल गति करण्याचीजी फारच चमत्कारिक युक्ति आहे ती समांतर गति या नामे करून प्रसिद्ध आहे आणि ती वाटसाहेबाने आपल्या दुहेरी क्रिया करणाऱ्या वाफयंत्रासाठीं उत्पन्न केली आहे.

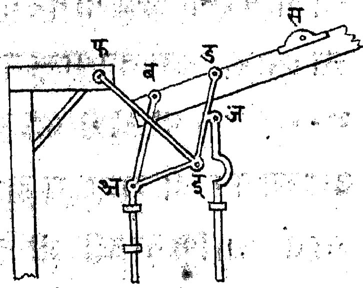
या यंत्रांत दट्टा वर आणि खालीं असा चांगल्या सरलरेषेंत प्रेरिला असतो आणि जें कोणी एक बल त्या दट्ट्याला त्या सरलरेषेपासून तिरकस करितें तें त्या यंत्राचा व्यापाराला बिघडितें अथवा नाहींसा करितें. आणि ठाटेचा जा शेवटाला दट्ट्याचा गज ओडायाचा असतो तो

शेवट

शेवट गमनापसरण गतीने वर्तुलाच्या धनुष्यांत चालतो. आणि जी एकसारिखी असून जिला कांहीं स्खलन नसतें अशी गति त्या शेवटापासून गजाला प्राप्त व्हायासाठीं त्या दोहोंच्या संबंद्ध करायास एक अवघड कृत्य उत्पन्न झालें. तें सिद्ध करावयासाठीं वाट साहेबाने पहिल्याने दट्ट्याच्या गजाच्या शेवटाला एक दांताळें जोडिलें आणि त्याची क्रिया लाटेच्या वर्तुलाकार माथ्यावर केलेल्या दंतासद्दवर्तमान चालविली. तथापि तेणेकरून विषम डळमळीत गति उत्पन्न झाली आणि झीजही फार उत्पन्न झाली. नंतर त्या साहेबाने लवकर समांतर गति त्या युक्तीचे स्थानीं योजिली.

लाट (स) या केंद्रावर क्रिया करिती आणि तिचा (ब) हा शेवट जा धनुष्याचें केंद्र (स) आहे त्या धनुष्यावर गमनापसरण क्रिया करितो. (इ फ) हा एक गज (फ) या स्थिर केंद्रावर खेळतो आणि त्याचा (इ) हा शेवट (फ) या बिंदूला केंद्र कल्पून वर्तुल धनुष्यांत चालतो. (इ फ) या गजाचा (इ) हा शेवट (ब स) या भुजावरच्या (ड) या बिंदूशीं जो गज (ड) आणि (इ) या संधींवर क्रिया करितो त्याणें जोडिला आहे. या रचनेमध्ये (ड) आणि (इ) हे प्रत्येक बिंदु वर्तुल धनुष्यांत गमनापसरण गतीने चालतात असें दिसतें. आतां (ड इ) या गजाचा (ज) हा मधला बिंदु सरल रेषेंत गमनापसरण गतीने ऊर्ध्वाधर चालतो असें दृष्टीस येतें. यास्तव (ज) या बिंदूला दट्ट्याचा गज जोडिला असतां तो गज सरलरेषेंत वर आणि खालीं चालेल.

(आ. १०९)



(अ इ) असा एक इतर गज (इ) एथे जोडिलेला असून (ब ड) याशीं समान आहे. आणि (ड इ) याशीं समान आणि (अ) आणि (ब) एथे संधींत केलेला एक दुसरा (अ ब) हा गज आहे. एथे (अ ब ड इ) ही आकृति समांतररेषचौकोन आहे हें स्पष्ट आहे. आणि जी रेषा (ज) या बिंदूने झाली आहे

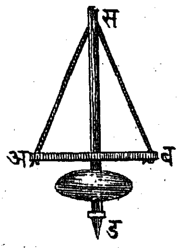
हे तिशीं समांतर आणि तिसारिखी जी रेषा आहे तींत (अ) हा बिंदु चालतो. परंतु (बस) आणि (सड) यांचा प्रमाणाने त्या रेषेपेक्षां लांब रेषेंत चालतो.

वाफयंत्रांत (अ) या बिंदूला सिलिंडराचा मोग दट्टा आणि वाताकर्षक बंबाचा दट्टा (ज) या बिंदूला सामान्यतः संबद्ध करीत असतात.

जे अनेक गज समांतरगतीला उत्पन्न करितात त्यांचें फार साधारण प्रमाण असें आहे ह्मणजे (बस) याचा मधल्या बिंदूवर (ड) असतो. (फइ) हा गज (डस) याशीं समान असतो ह्मणजे (बस) याचा अर्धाशीं समान असतो आणि (डइ) याचा लांबीला मोठेपण देत असतात. तथापि त्या गजांविषयीं अनेक प्रमाणें आहेत तीं वाफयंत्राचा ग्रंथांत पाहावीं.

या प्रकारें गति बदलायासाठीं एक इतर युक्ति (११०) आकृतींत दाखविली आहे. आंसावर फिरायाजोगें आणि त्या लांबीवर सरायाजोगें (अब) हें एक चक्र आहे. (अ) याला दोरी जोडून आंसाचा वरचा आंगांतल्या (स) या एका छिद्रांतून शिरवून चक्राचा जो व्यास (अ) यापासून पार गेला आहे त्याचा समोरचा शेवटावर (ब) एथे ती दोरी जोडिली आहे. या चक्राला फिरविलें असतां आंसावर ती दोरी गुंडाळिली जाऊन चक्र (स) याकडे ओढिलें जातें. आणि जशी ती दोरी पुनः सुटत जाती तसें तें चक्र आपल्या पूर्वीचा स्थितींत खालीं येत जातें. अथवा चक्राला त्या आंसाचा लांबीचा दिशेंत चालतां येत नाहीं परंतु जर (सड) या आंसाला त्या चक्रांतून आपल्या लांबीचा दिशेंत चालतां येतें तथापि पूर्वोक्त कार्य उत्पन्न होईल. (ड) या अग्राने छिद्र करायासाठीं हें यंत्र उपयोगांत घेतां येईल.

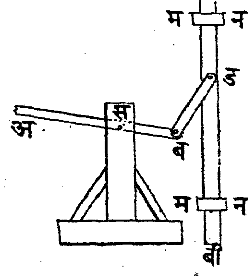
(आ. ११०)



गति तशीच बदलायासाठीं (१११) आकृतींत एक इतर युक्ति दाखविली आहे. एथे (अब) ही तरफ (स) या केंद्रावर क्रिया करिती. त्या तरफेवयाला (ब) या स्थलीं आणि (एबी) ही जी गजी (मन) या अडकणांत

स्पष्ट आहे.

(११२) सतत वर्तुल गतीने इतर सतत वर्तुल गति उत्पन्न करण्याचा प्रकार.



सतत वर्तुल गतीमध्ये दोहों विषयांचा विचार केला पाहिजे ह्मणजे ज्या आंसा भोंवतीं ती वर्तुल गति झाली पाहिजे तो आंस आणि वेग ह्मणजे एका सांगीतल्या कालांत जे फेरे झाले त्यांची संख्या.

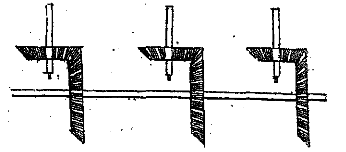
जर एका आंसा भोंवतालच्या वर्तुल गतीने जो आंस त्या आंसाशीं समांतर असतो त्या आंसाभोंवतीं वर्तुल गति उत्पन्न केली पाहिजे तरतें रुत्स असें केलें जाईल ह्मणजे परस्परांशीं एका सपाटींत असून सांगीतलेल्या आंसांशीं कोटकोनांत रहात अशीं दोन चक्रें त्या दोहों आंसांवर ठेवावीं. या चक्रांची परस्पर क्रिया आपल्या घेराचा घर्षणाने किंवा वादीने किंवा सांखळीने किंवा दंतानी चालवावी. जर ती क्रिया घर्षणाने किंवा दंतांनी करितात तर त्या दोहों आंसांभोंवतालची वर्तुल गति विरुद्ध दिशांत होईल. आणि जर ती वादीने किंवा सांखळीने क्रिया करितात तर ती वादी सव्यापसव्य न योजिली तर गति एकाच दिशेंत होईल अन्यथा विरुद्ध दिशेंत होईल.

जेव्हां चक्रें दंतांनी किंवा घर्षणाने क्रिया करितात तेव्हां जीं चक्रें त्या आंसांवर ठेविलीं आहेत त्यांमध्ये एक तिसरें चक्र व्यवहित केल्याने गति एकाच दिशेंत होईल. ज्या प्रकारांत ते आंस परस्परांपासून फार दूर असतात त्या प्रकारांत वादीचा उपयोगांत लाभ असतो कारण चक्राचा परंपरेचा उपयोगांचें प्रयोजन फार लागत नाहीं.

ज्या प्रकारांत प्रतिरोध फार मोठा असतो त्या प्रकारांत वादीचाने निर्वाह नाहीं यास्तव तिर्यक् दंतचक्रें एका गजीवर काटकोन दिशांत असतात त्यांचा योगाने कितीएका समांतर आंसांवर वर्तुल गति पोंचविली जाईल. अनेका समांतर आंसांवर वर्तुल गति द्यायाची रीति (११२) आकृतींत दाखविली आहे.

जेव्हां वर्तुल गतीचा वेग स्वकारणभूत गजीचा वेगाशीं समान असावा तेव्हां ज्या चक्रांनी घर्षण किंवा गाद्री किंवा दंत यांचा योगाने ती गति पोंचविली जाती त्या चक्रांचे व्यास समान पाहिजेत. आणि तो वेग ज्या प्रमाणाने अधिक किंवा उणा करावयाचा असेल त्याच प्रमाणाने चक्रांचे व्यास अधिक उणे केले पाहिजेत.

(आ. ११२)

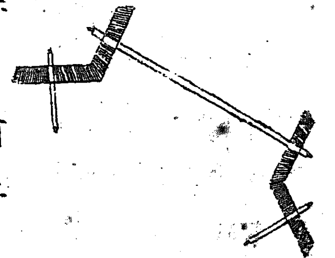


ज्या आंसावर वर्तुल गति पोंचविली जाती ते आंस समांतर आहेत असें एथे कल्पिलें आहे. आतां ते समांतर नाहींत ह्मणजे त्यांचा दिशा परस्परांस छेदितात असें कल्पिलें तर जसें (४७) आणि (७०) आकृतींत दाखविलें तसें गजीवर जोडिलेल्या तिर्यक् दंतचक्रांनी वर्तुल गति पोंचविली जाईल. आणि जर गतीचा वेगाला बदलिला पाहिजे तर ज्या शंकूपासून तीं तिर्यक्दंतचक्रें केलीं पाहिजेत त्याला जसें (७०) कलमांत सांगीतलें त्या प्रमाणें निराळे कोन पाहिजेत.

जर ते आंस परस्परांपासून फार अंतराने असले तर जीं तिर्यक्दंतचक्रें त्यांवर योजिलीं आहेत त्यांला परस्परांवर एकदांच क्रिया करितां येत नाहीं यास्तव या प्रकारांत (११३) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणे एक तिसरा आंस ज्याला दोन तिर्यक्दंतचक्रें आहेत तो योजिला पाहिजे. त्याचा योगाने गति पोंचविली जाईल.

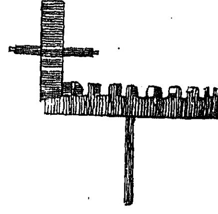
ते इतर दोन एका सपाटींत नसले तथापि एका तिसऱ्या आंसाने परस्पर संबद्ध करायाची ही रीति उपयोगांत पडेल.

(आ. ११३)



ज्या आंसावर गति पोंचवायाची आहे ते आंस जर काटकोनांत असतील तर (४७) आकृतींत दाखविलेल्या प्रमाणे दोन तिर्यक्‌दंतचक्रें फारकरून उपयोगांत घेत असतात तथापि एक समांतरदंत आणि एक शूलदंतचक्र याणें करूनही हें कार्य सिद्ध होतें. ही रचना (११४) आकृतींत दाखविली आहे.

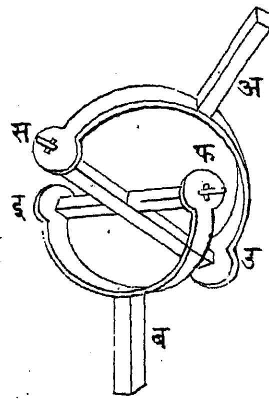
(आ. ११४)



(८६) आकृतींत दाखविलेल्या प्रमाणे एका दंतचक्रावर जें अनंत मळसूत्र क्रिया करितें त्याच्या योगाने एका आंसावरची वर्तुल गति जो दुसरा आंस त्या आंसाशीं काटकोनांत आहे त्यावर पोंचविली जाईल. त्या आकृतींत चक्राचा आंस जलरेषेसारिखा समान दाखविला आहे परंतु या समान रेषेशीं कोणत्याही कोनाने तिरकस ठेऊन मळसूत्राचा आंसावर लंब केला तथापि तसेंच कार्य उत्पन्न होईल हें स्पष्ट आहे.

हुक साहेबाचा साधारण संधि एका आंसापासून दुसऱ्या आंसावर वर्तुल गति पोंचवावयास एक सुलभ आणि कर्तृत्वाची युक्ति आहे.

(आ. ११५)

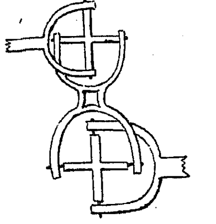


एकेरी साधारण संधि (११५) आकृतींत दाखविली आहे. (अ) आणि (ब) हे आंस ह्मणजे भुज आहेत. याचे मध्ये वर्तुल गति पोंचविली जाती. (सडइफ) असा एक स्वस्तिकाचा मध्यासारिखा ह्मणजे उभा आडवा असा एक धातूचा पदार्थ आहे. त्याचे शेवटांस जीं छिद्रें आहेत त्यांत फिरतात.

ही रचना पाहिली असतां जेव्हां (अ) हा भुज फिरवावा तेव्हां (ब) याला तशीच गति प्राप्त होती असें स्पष्ट आहे. तथापि (अ) आणि (ब) यांणी झालेला कोन जर (१४०) अंशांहून कमी असला तर तसें कार्य त्या संधीने होणार नाहीं.

यास्तव

यास्तव तशा प्रकारांत दुहेरी साधारण संधि घेतली पाहिजे. ही संधि (११६) आकृतींत दाखविली आहे. एथे स्वस्तिकाचा मध्या- (आ ११६) सारिखे पदार्थ दोन आहेत. त्यांचे शेवट उक्त प्रकारें छिद्रांत फिरतात. जेव्हां त्या भुजांनी झालेला कोन (१४०°) अंशांहून कमी असतो तेव्हांही ही रीति उपयोगांत पडती.



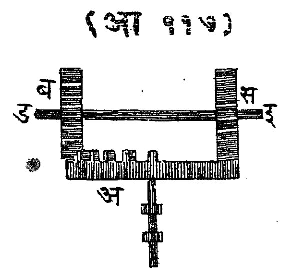
जे चार कील काटकोनांत रहातात त्या कोणी एका वलयाचा घेरावर अथवा गोळ्याचा घेरावर जोडून त्या कीलांनी ते संधि करितां येतील.

(११३) सतत वर्तुल गतीला गमनापसरण वर्तुल गति किंवा यांची विपरीत गति करण्याचा प्रकार.

असलें रूपांतर देण्याचा रीति अनेक आहेत परंतु सर्वांहून जी साधारण आहे ती (८७) आकृतींत दाखविलेल्याप्रमाणे जें क्रांक एका गजाने तरफेला किंवा क्रिया करणाऱ्या लाटेचा शेवटाला जोडिलें आहे तें आहे. एथे क्रांकाला जोडिलेल्या गजाचा शेवट क्रांकाचा आंसाभोंवतीं सतत वर्तुल गतीने चालतो आणि लाटेला जोडिलेला दुसरा शेवट गमनापसरण गतीने धनुष्यांत चालतो.

याच कार्याविषयीं एक दुसरी युक्ति (११७) आकृतींत दाखविली आहे. एथे (ब) आणि (स) हीं दोन एकाच आंसावरचीं शूलदंतचक्रें आहेत. आणि (अ) हें एक समांतरदंतचक्र आहे. त्याला एका भागांत मात्र दंत आहेत. आणि तें (ड इ) याशीं काटकोनांत ठेविलेल्या आपल्या आंसावर ठेविलें आहे. (अ) याचा आंस सर्वदा एकाच दिशेंत फिरविला असतां जोंपर्यंत (अ) या चक्राचे दंत (ब) याचा दंतांमध्यें आहेत तोंपर्यंत (ड इ) हा आंस एका दिशेंत फिरविला जातो. आणि जेव्हां (स) याचे दंत त्या दंतांनी क्रियेंत आणिले तेव्हां तो आंस समोरच्या दिशेंत

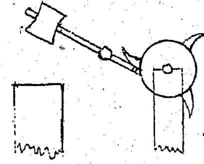
(आ ११७)



शेंत परत आतो. या प्रकारें गमनापसरण वर्तुल गति होत असती.

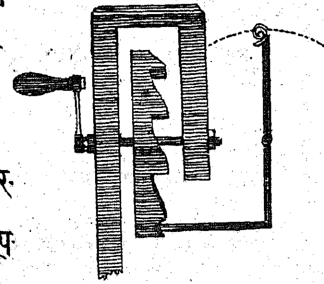
जा चक्राचे घेरावर पक्ष आहेत त्याणेही तें कार्य केलें जाईल. हे पक्षजी तरफ चक्राचा आंसाशीं काटकोनांत ठेविली आहे तिला उचलितात. ती तरफ पुनः आपल्या भारानें खालीं पडत जाती. (११८) आकृतींत ते पक्ष घणाला उचलितात असें दाखविलें आहे. तो घण आपल्या भारानें ऐरणीवर पडतो.

(आ. ११८)



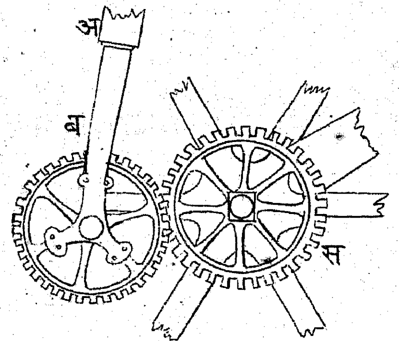
(१०३) आकृतींत जी युक्ति दाखविली आहे तिसारिखी एक इतर युक्ति (११९) आकृतींत दाखविली आहे. एथे ते पक्ष अडकणांत चालणाऱ्या गजावर क्रिया न करितां जी तरफ केंद्रावर क्रिया करिती त्या तरफेवर क्रिया करितात आणि एका कमाणीनें तरफेचा शेवट पक्षांवर चेपिला जातो.

(आ. ११९)



वाट साहेबानें आपल्या प्राचीन दुहेरी क्रिया करणाऱ्या वाफयंत्रासाठीं जें सूर्यग्रहचक्र ह्मणून एक यंत्र उत्पन्न केलें तें एक उदाहरण आहे. क्रिया करणाऱ्या लाटेचा एका शेवटाला (अब) हा संबद्ध करणारा गज जोडिला आहे. या गजाचा खालचा शेवटाला एकदंतचक्र जोडिलें आहे. तें चक्र आपल्या केंद्रावर फिरत नाहीं तर तें (स) हें जें चक्र आपल्या केंद्रावर फिरतें त्याचा दंतांमध्ये क्रिया करितें. तें असें कीं जसें एक चक्र संबद्ध गजानें दुसऱ्या चक्राचे भोंवतीं फिरविलें जातें तसें तें त्या दुसऱ्या चक्राला सतत वर्तुल गति देतें. सारांश. लाटेचा शेवटाचा गमनापसरण वर्तुल गतीनें चक्रावर सतत वर्तुल गति उत्पन्न केली आहे.

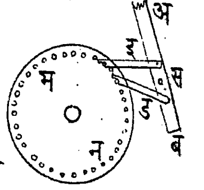
(आ. १२०)



(१२१) आकृतींत एक युक्ति दाखविली आहे. ति-

चें मूलकारण ला--गरूस साहेबाचा तरफेचा सारिखें आहे. (मन) एक चक्र आहे. त्याला समांतर दंतचक्रासारिखे दंत किंवा खुंट्या बाहेर निघालेल्या आहेत. (स) या केंद्रावर क्रिया करणारी (अब) हीएक तरफ आहे. (ड) आणि (इ) हे दोन गज आहेत. ते कीलांनी तरफेवर फिरतात. आणि त्यांचे दुसरे शेवट असे केले आहेत कीं ते त्या खुंट्यांवर चेपून चक्राला फिरवितात. जेव्हां तरफेचा (ब) हा शेवट चक्राकडे चेपिला जातो तेव्हां (ड) हा गज खुंटीला चेपून चक्राला आपल्या केंद्राभोंवतीं प्रेरितो. त्याच गतीने (इ) हा गज आणि जा खुंटीवर तो रहातो ती खुंटीहीं निराळी होऊन (इ) हा गज चक्राचा दुसऱ्या खुंटीवर पडतो. आतां (ब) हा शेवट चक्रापासून दूर केला असतां (इ) हा गज खुंटीवर चेपून चक्राला आपल्या केंद्राभोंवतीं प्रेरितो. त्या कालीं (ड) हा गज आणि जा खुंटीवर तो रहातो ती खुंटीहीं निराळीं होऊन (ड) हा गज पुढल्या खुंटीवर पडतो. या प्रकारें (अब) या तरफेची गमनापसरण वर्तुल गति (मन) या चक्रावर सतत वर्तुल गति उत्पन्न करिती.

(आ-१२१)



घड्याळांत जीं नानाप्रकारचीं मोचकचक्रें उपयोगांत घेतात तीं याचा कार्याचीं उदाहरणें आहेत. लंबकाला गमनापसरण वर्तुल गति असती आणि जें चक्र त्याशीं सल्लग्न असून त्याचाने नियमित केलें जातें त्याला सतत वर्तुल गति आहे.

(११४) एका गमनापसरण वर्तुल गतीला दुसरी गमनापसरण वर्तुल गति करण्याचा प्रकार.

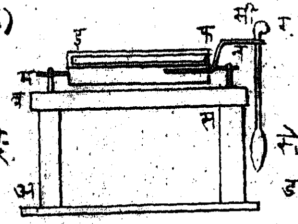
हें कार्य करायाचा युक्ति पुष्कळ आणि स्पष्ट आहेत. जर त्या दोन्हीं गति एकाच आंसावर असल्या तर जा दोन तरफा अथवा भुज केंद्रापासून निघून जा दिशांत गति करावयाचा आहेत त्या दिशांत गेले आणि ज्याचा लांबी जा वर्तुल धनुष्यांत त्याचे शेवटांला आंदोलन करावयाचें आहे त्या धनुष्यां-

शीं

का आंसापासून दुसऱ्या आंसावर पोंचवावयास जा युक्ति उपयोगांत घेतअसतात त्यांतल्या फारकरून कोणीएका युक्तीने त्या दोहों आंसांचा संबद्ध करितां येईल

चाळणी हालवायासाठीं कामस साहेबाची एकयुक्ति (१२२) आकृतींत दाखविली आहे. एथे (अबसड) ही एक मेज आहे. त्या मेजेवर जी फळी (मन) या कीलांवर क्रिया करिती ती (इफ) आहे. हिचा एका कीलाला जो (सी) हा भुज जोडिला आहे त्याशीं (रसे) हा लंबक टांगिला आहे. त्या लंबकाला आदिचालक गमनापसरण वर्तुल गति देतो. आणि ही गति त्या फळीला आपल्या आंसावर आंदोलन देती.

(आ. १२२)



असें रूपांतर करायासाठीं अनेक इतर युक्ति आहेत परंतु त्या ग्रंथविस्तार भयामुळें लिहिल्या नाहींत.

शिल्पविद्या

निबंध ३

घर्षण आणि दोरीची अनम्रता यांविषयीं

भाग १

सामान्यतः प्रतिरोधक बलांविषयीं

(१) जें स्थिर पदार्थाला गतिमंत करायास शक्य किंवा गतिमंत पदार्थाचा गतीचें मान न्यूनाधिक करायास शक्य किंवा गतिमंत पदार्थाचा गतीचा अभाव करून त्या पदार्थाला स्थिर स्थितींत आणायास शक्य आहे त्याला बल ह्मणतात. बलें दोहों जातींचीं आहेत. तीं स्वस्वकार्याचा भेदेंकरून परस्परांशीं भेद पावतात. स्थिर पदार्थाला गतिमंत करायास जीं बलें शक्य आहेत तीं पहिल्या जातीचीं आहेत. आणि बल या शब्दाचा पूर्वोक्त निर्वचनामध्ये जीं इतर कार्यें सांगीतलीं तीं कार्येंही या पहिल्या जातीचा बलांनी उत्पन्न करायास येतात. तात्पर्य, जें बल कोणीएका स्थिर पदार्थाला गति देतें तेंच बल जर कोणीएका इतर गतिमंत पदार्थावर योग्य दिशेंत योजिलें तर त्याचा गतीचा मानाला अधिक करील आणि जर विरुद्ध दिशेंत योजिलें तर त्या मानाला कमी करील हें स्पष्ट आहे. आणि हेंच बल पूर्वी कोणीएका स्थिर पदार्थावर योजून त्याला कोणी एका दिशेंत गति दिली नंतर तेंच बल त्याच पदार्थावर विरुद्ध दिशेंत योजिलें असतां त्या पदार्थाला पूर्वीं जी गति प्राप्त झाली आहे तिचा अभाव करून पदार्थाला स्थिर स्थितींत पुनः आणील. या जातीचा बलाला प्रेरक बल ह्मणतात. आणि ज्या बलांचे गुण पहिल्या निबंधांत वर्णिले आणि जीं आदिचालकें आहेत तीं सर्व बलें या जातीचीं जाणावीं.

जीं बलें गतिमंत पदार्थांचा गतीचें मान कमी करायास शक्य आहेत किंवा तिचा अभाव करून पदार्थाला स्थिर स्थितींत आणायास शक्य आहेत परंतु स्थिर पदार्थांचा आंगीं गति उत्पन्न करायास किंवा गतिमंत पदार्थांची गति वाढवायास शक्य नाहींत तीं बलें दुसऱ्या जातीचीं जाणावीं. असल्या बलांला अप्रेरक किंवा प्रतिरोधक बलें ह्मणतात. असल्या बलांचीं उदाहरणें पुष्कळ आहेत आणि या प्रतिरोधक बलांचें कार्य असल्यावांचून कोठेही पृथ्वीचा पृष्ठावर कांहीं गति असत नाहीं असें वास्तविक आहे. स्थितिस्थापक आणि अस्थितिस्थापक असे जे प्रवाही पदार्थ आहेत ते दोन्हींही आपणामधून कोणीएक पदार्थ जात असतां त्यांचा गतीचा जो प्रतिरोध करितात तो या बलांचा कार्यांचीं कदाचित् सर्वांहून साधारण आणि स्पष्ट उदाहरणें असतील. प्रेरिलेला पदार्थ वायूमधून चालत असतां जो प्रतिरोध होत असतो तो आणि जड पदार्थ पाण्यांतून पडत असतां जो प्रतिरोध त्याला होत असतो तो हे दोन्हीं प्रकट उदाहरणें आहेत. प्रवाही पदार्थांचे प्रतिरोध या विद्येचा दुसऱ्या प्रकारांतील आहेत यास्तव एथे त्याचा विचार विशेषेकरून केला नाहीं परंतु घर्षण आणि दोरीची अनम्रता यापासून जीं प्रतिरोधक बलें उत्पन्न होतात त्यांकडे मात्र लक्ष ठेविलें आहे.

(२) शिल्पविद्येमध्ये घर्षण आणि अनम्रता यांचा प्रतिरोधाचा कार्याचें ज्ञान किती मोठ्या उपयोगाचें आहे हें कळायास थोडका विचार मात्र केला पाहिजे. पहिल्या निबंधांत प्रेरक बलें ह्मणजे जीं शिल्पसाधनें यंत्रांला गति प्राप्त करायास सामान्यतः उपयोगांत घेतलीं आहेत त्यांचा स्वभाव आणि नियम यांचें वर्णन केलें आहे. दुसऱ्या निबंधांत जीं यंत्रें या पूर्वोक्त प्रेरक बलांपासून गति धारण करायास योजिलीं असतात त्यांचा स्वभाव निर्मिति आणि गुण यांचें वर्णन केलें आहे परंतु तो विषय कठिन नहोऊन अभ्यास करणारांस सर्वांहून सोपा आणि स्पष्ट दिसावा एतदर्थ त्या विषयाचा विचारासमयीं ज्या यंत्रांनी प्रेरक बलें कार्यस्थलांवर पोंचलीं जात असतात तीं यंत्रें सर्व प्रतिरो-

धापासून

धापासून अगदीं मोकळीं आहेत. तशीं जीं पृष्ठें सलग्न असून क्रियेंत असतात तीं पूर्ण गुळगुळीत असून घर्षणावांचून क्रिया करीत असतात आणि आंस आणि कील हे दोन्हीं शिक्षामालेचा रेषा आणि बिंदु आहेत दोऱ्या पूर्ण नम्र आहेत आणि आदिचालकाचें कार्य यंत्रद्वारा कार्यस्थलावर पोंचत असतां कोणत्याही प्रतिरोधानें अगदीं कमी होत नसतें असें मानिलें आहे. तथापि यंत्राची अनुभविक योजना आणि उपयोग यांत वस्तुतः अशा कल्पना कधींही घडत नाहींत ह्मणजे जीं अनेक पृष्ठें क्रियाकालीं सलग्न वागत असतात तीं सर्वथा पूर्ण गुळगुळीत नसतात आंस प्रत्यक्ष जाडे असतात आणि जांत ते फिरतात तीं भोंकें सर्वथा पूर्ण गुळगुळीत नसतात दोऱ्या पूर्ण नम्र नसतात त्याप्रकार अनम्र असून तीअनम्रता सामान्यतः त्यांचा बलाचा प्रमाणानें मोठी असती. या प्रतिरोधांचीं कार्यें युक्तीनें फार कमी केलीं आहेत ह्मणजे पृष्ठें फार गुळगुळीत केलीं आहेत आणि त्यांला अधिक गुळगुळीतपणा प्राप्त करावयास अनेक साधनें घेतलीं आहेत परंतु अद्यापि त्यांला लहान लहान परमाणुसारिखे कण पुष्कळ असतात. ते गतिकालीं परस्परांकडे निरोध करायाला सतत येऊन त्या गतीला निरोधितात आणि आदिचालकाचा क्रियेला फार प्रतिरोध करितात आणि त्या आदिचालकापासून त्याचा कर्तृत्वाचा फार मोठा अंश घेऊन त्याला कार्यस्थलावर प्रमाणानें उणे झालेल्या बलानें पोंचवितात. यास्तव स्पष्ट आहे कीं जर यंत्राचें खरें अनुभवसिद्ध कर्तृत्व मोजावयाचें असलें तर त्या प्रतिरोधांचें मान मोजावयास युक्ति पाहिजेत. आणि जेव्हां तें मान कळलें तेव्हां जीं सिद्धांतिक बीजें दुसऱ्या निबंधांत सुचविलीं आहेत आणि जांत या प्रतिरोधक बलांविषयीं कांहीं लक्ष ठेविलें नाहीं त्यांवरून जें कार्य सिद्ध होतें त्यापासून तें मान वजा केलें पाहिजे. आणि वजा केल्यानंतर बलांचा जो शेष भाग रहातो तोच भाग यंत्राचा कोणी एका योजनेमध्ये अनुभवसिद्ध उपयोगांत आदिचालकाचा कार्याचा जो भाग आहे तोच तो शेष भाग आहे.

(३) स्थैर्यविज्ञान आणि शक्तिविज्ञान यांमध्ये ह्मणजे जीं यंत्रें समतोलनांचा अवस्थेंत आहेत आणि जीं गतीचा अवस्थेंत आहेत त्यांचे ठायीं अप्रेरकबलें ह्मणजे प्रतिरोधक बलें निर्निराळीं कार्यें उत्पन्न करितात. जेव्हां यंत्र समतोलनांचा अवस्थेंत आहे तेव्हां शक्तीला प्रतिरोधक बलें साहय्यता देतात असें ह्मणतात. याच्या अर्थ असा आहे. ज्या वास्तविक यंत्रामध्ये असे प्रतिरोध आहेत त्या यंत्राचे ठायीं भाराला धरायास जी शक्ति लागती ती शक्ति यंत्रांत असले प्रतिरोध नसतां जी शक्ति लागेल तिजपेक्षां कमी आहे. उदाहरण ज्या उतरणीचा कर्ण कोटीपेक्षां दुप्पट आहे तिवर दोहों रतलांच्या भार ठेविला आहे असें कल्पावें. आतां भार आणि उतरण यांचा पृष्ठांचें घर्षण नसलें तर एका रतलाची जी शक्ति उतरणीच्या समांतर दिशेंत क्रिया करिती तशी शक्ति भाराला समतोलनांत ठेवावयास पाहिजे परंतु भार आणि उतरण यांचीं पृष्ठें घर्षणाचा स्वाधीन आहेत असें जर कल्पिलें तर तें घर्षण भाराचा उतरण्याला निरोध करायास शक्तीला अनुकूल होईल यास्तव भाराला धरायास जी शक्ति पाहिजे ती पूर्वींचा शक्तीपेक्षां घर्षणाचा मानानें कमी पुरेल.

दुसरें उदाहरण. एकेरी चालत्या कपीला एक भार योजिला आहे असें कल्पावें. आणि भार आणि कपी या दोहोंचा भार दोन रतल आहे. आतां जर दोरीला कांहीं अनम्यता नसली आणि ती घर्षणावांचून चक्रावरून जात आहे आणि तें चक्रही ठोकळ्याचा बाजूंशीं आणि आपल्या आंसाशीं घर्षणावांचून स्वतः फिरत आहे असें असलें तर भाराला समतोलनांत ठेवावयास जी शक्ति पाहिजे ती एका रतलाची पाहिजे परंतु जर दोरीला अनम्यता आहे ती अशी कीं चक्रावर दोरीला नमवावयास कांहीं बल पाहिजे आणि ती चक्रावरून जात असतां तिचा आणि चक्राचा पृष्ठांचा खरखरीतपणा घर्षणापासून प्रतिरोध उत्पन्न करितो आणि चक्र आणि ठोकळा यांचीं पृष्ठें गुळगुळीत नसतां चक्र ठोकळ्याचा बाजूंशीं जर घांसतें आणि चक्र आपल्या गतीचा कालीं आंसावरचा घर्षणाचा स्वाधीन

जर

केवटलेल्या कोयीनें कमी होईल.

यास्तव समतोलनाच्या प्रकारामध्ये आणि ज्या अर्थीनें वर वर्णन केलें त्यां-त प्रतिरोधक बलें शक्तीला सहाय्यता देतात.

शक्तिविज्ञानामध्ये तर त्याचें विरुद्ध कार्य घडतें ह्मणजे जेव्हां शक्ति भारला केवळ उचलण्यासच उपयोगांत घेतली नाहीं तर त्याला चालावयासही घेतली आहे. अशा प्रकारांत प्रतिरोधक बलें शक्तीला निरोध करितात आणि तिपासून तिच्या कर्तृत्वाचा कांहीं अंश घेतात.

पूर्वींचीं उदाहरणें पुनः दाखवितो ह्मणजे ज्या उतरणीच्या कर्ण कोटीचा दुप्पट आहे तिवर दोहों रतलांचा भार ठेविला आहे असें कल्पावें. जर कांहीं घर्षण नसलें तर कोणी एक शक्ति जी एका रतलाहून किंचित् अधिक आहे ती भाराला उतरणीवर ओढायास समर्थ होईल परंतु जेव्हां घर्षण आहे आणि जें सर्वदा असतें तेव्हां हें कार्य घडणार नाहीं. कारण एका रतलाची शक्ति घर्षण नसतां पदार्थाला सारख्या बाजून त्या उतरणीवर धरावयास मात्र शक्ति असती यास्तव जर तिला कांहीं एक लहान मान मिळविलें तर तें मान घर्षणाला प्रतिहत करून पदार्थाला गतिमंत करावयास पूर्तें बळ कदाचित् करणार नाहीं. जें मान घर्षणाशीं समान आहे तें त्या एका रतलाच्या शक्तीशीं मिळविलें असतांही तो भार उतरणीचावर चालायास आरंभ करणार नाहीं. तो भार स्थिरच राहील आणि कांहीं घर्षण नसतां ज्या अवस्थेंत तो भार असेल त्या अवस्थेंत आतां उतरणीचावर आयाविषयीं सिद्ध होईल. आणि त्या शक्तीला किंचित् कांहीं आधिक्य प्राप्त झालें असतां ती भाराला वर ओढील. सारांश. घर्षण नसतां जितकी शक्ति पाहिजे तिपेक्षां घर्षण असतां उतरणीवर भाराला धरून ठेवावयास शक्ति कमी पाहिजे आणि उतरणीचावर भाराला ओढावयास शक्ति अधिक

क

खिल्याचा पूर्वीं प्रतिरोध आहेत असें जर कल्पिलें तर जें मान सर्व प्रतिरोधांला स-
मतोलनांत धरील तें शक्तीशीं मिळविलें पाहिजे. नंतर शक्तीला किंचितूही अधिक
केली असतां गति उत्पन्न होईल.

यास्तव सामान्यतः असा सिद्धांत करितो कीं जेव्हां कोणी एका जातीचें यंत्र
भाराला उचलून धरायास किंवा प्रतिरोधाशीं समतोलन करावयास उपयोगांत घे-
तलें तेव्हा प्रतिरोधक बलें शक्तिसहवर्तमान क्रिया करितात आणि तीं शिल्पलाभा-
चीं आहेत आणि अनेका प्रकारांत प्रतिरोधक बलें यंत्राचीसर्व शक्ति आणि कर्तृत्व अ-
सतात. उदाहरण. जेव्हां कोणी एका इमारतीचें भाग जोडावयास मळसूत्रें उपयोगां-
त घेतलीं तेव्हां जा पदार्थांमध्ये तीं योजिलीं आहेत त्याशीं मळसूत्रांचे घर्षण त्या-
चे परतण्यास बंद करून आपण त्याचें सर्व कर्तृत्व होतें. याच प्रकारें खिल्याचा उ-
पयोगांत घर्षण खिल्याचा उसळण्यास निरोध करून पदार्थ जोडायाची सर्व
शक्ति खिल्याला देतें. खिळा एक अरुंद पाचर आहे.

पाचरेचा साधारण उपयोग स्वतः प्रतिरोधक बलाचा जो स्थैर्यविज्ञानीय
लाभ आणि शक्तिविज्ञानी हानी याचें उदाहरण दाखवितो. जेव्हां पाचर कोणीए-
का कामाविषयीं उपयोगांत घेतली म्हणजे लांकूड चिरावयास घेतली तेव्हां लांकूडाचें
पृष्ठ आणि पाचरेचा बाजू यांचामध्ये जें मोठें घर्षण उत्पन्न होत असतें तें पाचरेला पुढें प्रे-
रायास तिचा माथ्यावर जो आघात योजीत असतात त्याचा बलाचा कार्याला फार प्रतिरो-
ध करितें. यास्तव घर्षण काढिलें असतां ती पाचर जा मोठ्याबलानें आणि कार्यानें पु-
ढें आईल त्याहून फारकमी बलानें आणि कार्यानें घर्षण असतां पुढें जाती. आणि
पुढें गेल्यानंतर तेंच घर्षण तिचा माथ्यावर जे आघात होत असतात त्या प्रत्येका
आघाताचा मधल्या अवकाशांत तिचा उसळण्यास बंद करितें. यास्तव याप्रका-
रांत

रांत जर घर्षणाचें कार्य नसतें तर चेपणापेक्षां आघाताचें जें फार अधिक बळ असतें त्याशिवाय चेपणाने पाचरेला प्रेरावी लागती. एथें बलाचा अभावकालीं पाचरेचा उसळण्यास बंदकरावयास घर्षणाचें जें कार्य असतें त्यापासून पाचरेचा गमनाला घर्षणाचा प्रतिरोध झाल्यामुळें जो शक्तीचा तोटा होत असतो त्यापेक्षां शक्तीचा लाभ फार अधिक असतो.

(५) प्रतिरोधक बलें जा नियमांनी नियमित केलीं आहेत ते नियम केवल अनुभवावरून स्थापिले आहेत. कारण. शिक्षामालेचा विचाराने जा बीजांपासून ते नियम सिद्ध करितां येतील अशीं साधारण आणि सोपीं बीजें नाहींत. आणि जा सर्वांहून चांगल्या योजिलेल्या परीक्षा आहेत त्यांमध्येही कांहीं मोठीं अंतरें दिसतात. आणि या बलांचे गुण आणि नियम यांशीं जे अनेक विषय संबद्ध आहेत त्यांविषयींही ज्ञानी मनुष्यांचा मतभेद आहे. आतां जा गुणांविषयीं ज्ञानी मनुष्यांचीं मतें फारकरून एक आहेत त्यांचें साधारण कथन करितो आणि जा प्रकारांत निर्निराळ्या परीक्षांचा फळांचेठायीं विशेष भेद असतात ते प्रकार स्पष्ट सांगीतले जातील.

यद्यपि प्रतिरोधक बलांचे नियम सर्वथा अनुभवावरून स्थापिले आहेत असें सांगीतलें तथापि या विद्येची साधारण बीजें एथे केवल अप्रयोजक आहेत असें नाहीं तर जे नियम शोधायाचे आहेत त्यांला उघड करावयासाठीं जा परीक्षा सर्वांहून चांगल्या आहेत त्यापरीक्षा निवडायास हीं बीजें दिक्प्रदर्शक आहेत. आणि हीं बीजें नसलीं तर जा परीक्षांवर विश्वास ठेविला जाईल अशा कित्येका खोट्या परीक्षांचें अंतर दाखवायास हीं उपयोगाचीं आहेत. आणि त्या बीजांनी परीक्षांचा शोधाचीं जी फळें सिद्ध होतात त्यांमधून अनेक उपयोगांचीं फळें प्राप्त करवितां येतात. हेंही याचें दुसरें प्रयोजन आहे.

जा प्रतिरोधक बलांचा विचार करावयाचा आहे त्यां मध्ये घर्षण सर्वांहून मोठें बल आहे यास्तव एथे घर्षणाचा विचार आरंभी करितो.

भाग २

एक पृष्ठ दुसऱ्या पृष्ठावर सरत असतां त्यांचा घर्षणाविषयीं.

(९५) एका पदार्थाचें पृष्ठ दुसऱ्या पदार्थाचा पृष्ठावर सरतें अथवा सरायास यत्न करितें असा अर्थ घर्षणाचा पोटांत आहे आणि एक पृष्ठ दुसऱ्यावर कांहीं प्रत्यक्ष मानाचा चेपणानें प्रेरिलें आहे असाही अर्थ घर्षणाचा जाणावा. या प्रकारांत जीं पृष्ठें सल्लग्न असतात त्यांचा पूर्ण गुळगुळीतपणाचा अभाव घर्षणाचें कारण आहे. जे लहान अणु प्रत्येका पृष्ठावर पसरले आहेत ते जेव्हां तीं पृष्ठें सल्लग्न असतात तेव्हां एकमेकामधून शिरले जातात आणि एक पृष्ठ दुसऱ्यावर असतां त्यांला प्रेरावयास जेव्हां यत्न केला तेव्हां ते विषम अणु परस्परांला निरोधकरून गतीचा प्रेरणेचा निरोध करितात. जा प्रकारानें हें कार्य उत्पन्न होतें तो प्रकार वक्ष्यमाण प्रकारें कळूं येईल. केंशांचा दोन कुंच्या घेऊन त्यांचा केंशांचीं अग्रें परस्परांकडे करून या स्थितींत योजून केंशांचा दिशेंत त्या कुंच्यांला चेपाव्या. त्या अशा कीं एका कुंचीचे केंश दुसरीचा केंशांचामध्ये शिरतील. आतां एक कुंची दुसरीवर केंशांचा काटकोनाचा दिशेंत प्रेरावयास यत्न केला असतां तो यत्न फार मोठ्या प्रतिरोधानें निरोधिला जाईल. जीं पृष्ठें घर्षण उत्पन्न करितात तीं जा विषमतांनी व्यापिली आहेत त्या विषमता कुंच्यांचा केंशांप्रमाणे परस्परांवर क्रिया करितात. आणि जशा जशा मोठ्या बलानें त्या कुंच्या परस्परांकडे चेपितात तसा तसा तो प्रतिरोध मोठा असतो हें स्पष्ट आहे. त्याच प्रकारें पृष्ठें परस्परांकडे जा चेपणानें प्रेरिलीं जातात तें चेपण जसें जसें मोठें असतें तसें तसें घर्षणही मोठें असतें असें सर्वदा सिद्ध होतें.

(९६) घर्षणें तीन जातींचीं आहेत परंतु सूक्ष्म विचार केला असतां तीन प्रकार आहेत जांत एक पृष्ठ दुसऱ्यावर क्रिया करीत असतें. त्या प्रत्येका प्रकारांत घर्षण निर्निराळ्या रीतीनें क्रिया करितें. पहिला प्रकार एक पदार्थ आपल्या समान तळावर राहून दुसऱ्या पदार्थाचा समान पृष्ठावर सरतो. दुसरा प्रकार. एक

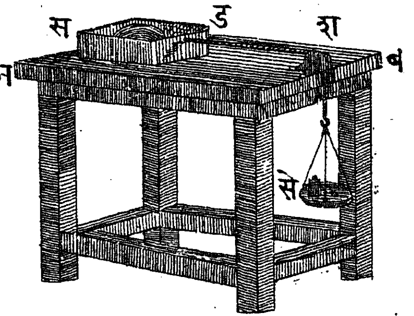
पदार्थ

पदार्थ सिलिंडराकार असून दुसऱ्या पदार्थाच्या पृष्ठावर लोटतो. तिसरा प्रकार. जेव्हां एक भरींव सिलिंडर त्याहून मोठ्या व्यासाच्या एका दुसऱ्या पोकळ सिलिंडरांत शिरवून त्यांत कोणी एका दिशेंत कोणी एका बलानें चेपिलें असतां त्यांत फिरतें. असें घर्षण अनेका रीतीनीं क्रिया करीत असतां उत्तरोत्तर त्याचा विचार होईल.

(७) एकाच अवस्थेमध्ये एक पृष्ठ दुसऱ्यावर सरत असतां त्याचें घर्षण जा चेपणानें तीं पृष्ठें परस्परांकडे प्रेरिलीं असतात त्या चेपणाच्या प्रमाणांत आहे. हा नियम अनुभवावरून स्थापिला आहे असें दिसतें. हा नियम खरा आहे असें प्रकृत मानून जा परीक्षांवरून हा नियम स्थापिला जातो त्या परिक्षांची रीति वर्णितो.

(१) आकृति. एथे (अब) हें एक चांगलें समान पृष्ठ आहे. या पृष्ठाचा घर्षणाचा विचार करावयाचा आहे. जा पदार्थाचें खालचें पृष्ठ सपाटीचा वरचा पृष्ठाशीं सल्लग्नतेनें चालावयास कल्पिलें आहे त्या पदार्थाचा एक अंश (सड) आहे. पदार्थाचें हें पृष्ठ आणि तें इतर पृष्ठ हीं दोन्हीं जांचा मधल्या घर्षणाचा विचार करावयाचा आहे तीं पृष्ठें आहेत. (सड) याचा वरचा भाग (अब) या पृष्ठावर (सड) याचें चेपण जसें विवक्षित असेल तसें बदलितां येई असा तो भाग कांहींएक वजनें धारण करावयास योजिला आहे. (सड) याला (ड) एथे जोडिलेली एक दोरी आहे. ती दोरी खालचा पृष्ठाशीं समांतर दिशेंत (श) या बैठ्या कपीवरून नेऊन तिला (से) हें परडें टांगिलें आहे. हें परडें पृष्ठावर (सड) याला ओढावयास जा वजनांचें कार्य आहे तीं वजनें धारण करायाजोगें आहे. (सड) याचा स्वभार आणि त्याचें ओझें एक रतल होई असें (सड) याजवर वजनें योजावीं. जोंपर्यंत (से) हें परडें (सड) याला सारावयास

(आ. १)



यास मात्र भारी होई तोंपर्यंत त्यांत बारीक वाळू घालावी. आतां वाळूचा भार आणि परड्याचा भार हे दोन्हीं घर्षणाला दाखवील. ते भार अर्धरतल आहेत असें कल्पावें. नंतर (सड) याला एक दुसऱ्या रतलाचें ओझें योजावें असें कीं पृष्ठावर त्याचें चेपण पूर्वीच्या मानाचा दुप्पट होईल. आतां (सड) याला गतिमंत करायाला (से) या परड्यांत अर्धरतल भार अधिक ठेवावयास लागेल असें सिद्ध होईल. सारांश जेव्हां चेपण दुप्पट झालें तेव्हां घर्षणही दुप्पट होतें. पुनः अनुक्रमें एक तिसरा चवथा आणि पांचवा रतल (सड) याशीं मिळविला असतां एक तिसरा चौथा आणि पांचवा अर्धरतल घर्षणाला प्रतिहत करायास (से) यांतल्या वजनाला मिळविला पाहिजे असें दिसेल. याच प्रकारें ही परीक्षा पुढें चालविता येईल आणि जा प्रमाणानें चेपण वाढविलें त्याच प्रमाणानें घर्षणही वाढेल असें स्पष्ट होईल.

कोलोंब आणि जेमिनूस या साहेबांनी जा परीक्षा मोठ्या आकाराच्या पदार्थीनी आणि अनेका काली योजिल्या त्यांचीं फलें पूर्वोक्त आहेत तथापि एका फार दुर्घट प्रकारामध्ये पूर्वोक्त नियमांत कांहीं थोडकासा भेद झाला. स्पष्टार्थ जीं चेपणें घेतलीं तीं जेव्हां फारच मोठीं होतीं तेव्हां घर्षण चेपणाच्या तितक्याच मोठ्या प्रमाणांत वाढलें नाहीं तथापि त्या नियमापासून हा भेद थोडका होता आणि अशा दुर्घट प्रकारांमध्ये मात्र तो आढळला यास्तव फारकरून वगळला असतांही चिंता नाहीं.

जेव्हां पृष्ठाचें प्रमाण सांगीतलें तेव्हां घर्षण चेपणाच्या प्रमाणांत असतें असें मानिलें असतां एक फार चमत्कारिक फल सिद्ध होतें. तें असें. कोणत्याही प्रकारें सलग्न पृष्ठाचें प्रमाण बदलिलें तथापि जोंपर्यंत चेपण बदलिलें नाहीं तोंपर्यंत घर्षण तसेंच रहातें. उदाहरण. (सड) हा पदार्थ लांकूडाचा एक चपटा ठोकळा आहे आणि त्याचें पृष्ठ सोळा वर्ग इंचांच्या प्रमाणाचें आहे आणि त्याची धार एक वर्गइंच मात्र आहे असें कल्पावें. आतां तो पदार्थ पृष्ठावर आपल्या धारेने अथवा आपल्या पृष्ठानें कसाही ठेविला तथापि (अब) या पृष्ठाशीं त्याचें घर्षण एकच होईल. याचें वर्णन करावयास असें कल्पावें ह्मणजे त्या ठोकळ्याचा भार सोळा औंस आहे आ-

णि तो पदार्थ जेव्हां आपल्या धारेवर रहातो तेव्हां घर्षणाचें मान पूर्वोक्त प्रमाणे शो-
धिलें असतां आठ औंसांचें आहे. यास्तव असें फलित होतें ह्मणजे पदार्थाचा धारे-
चा प्रत्येका वर्ग इंचेचें घर्षण त्याच वर्ग इंचेवर जें चेपण असतें त्याचा अर्धा इतकें
आहे. आतां त्या पदार्थाला आपल्या पृष्ठावर ठेवावा. आणि त्या पृष्ठाचें प्रमाण सो-
ळा वर्ग इंचा आहे असें कल्पावें. त्या पदार्थाचा सर्व भार सोळा औंस आहे यास्त-
व प्रत्येका वर्ग इंचेवरलें चेपण एक औंस होईल. जेव्हां एका वर्ग इंचेवर चेपण
सोळा औंस होतें तेव्हां घर्षण आठ औंस होतें आणि अनुभवांत तर घर्षण चेप-
णाचा प्रमाणांत असतें यास्तव या प्रकृत प्रकारामध्ये जांत पृष्ठाचा प्रत्येका वर्ग इं-
चेवर चेपण एक औंस आहे त्या पृष्ठाचा प्रत्येका वर्गइंचेचें घर्षण अर्ध औंस अस-
लें पाहिजे. आणि वर्ग इंचा सोळा आहेत यास्तव सर्व घर्षण सोळा अर्ध औंस हो-
ईल ह्मणजे आठ औंस होईल. हें घर्षण पदार्थ आपल्या धारेवर रहात असतां
जितकें होतें तितकेंच आहे.

तीं पृष्ठें कोणी एका इतर प्रमाणाचीं आणि तें चेपण कोणी एका इतर माना-
चें कल्पिलें तथापि तसेंच फल उत्पन्न होतें हें स्पष्ट आहे. परंतु बीजगणिताची ज्यां-
ला थोडकी माहीत आहे त्यांणी त्या चमत्कारिक गुणाचें एक साधारण प्रमाण पाहि-
लें असतां समाधान होईल.

पृष्ठाचा प्रमाणाचें माप एक वर्ग इंच आहे आणि चेपणाचा प्रमाणाचें मा-
प एक रतल आहे असें कल्पावें. पृष्ठाचा एका वर्ग इंचेवरचें चेपण (श) आहे. तें र-
तलाने किंवा रतलाचा अंशाने दाखविलें आहे. सलग्न पृष्ठाचा वर्ग इंचांची सं-
ख्या (स) आहे. आतां सर्व चेपण (स×श) होईल. पृष्ठाचा एका वर्गइंचेवर जितकें
घर्षण एका रतलाचा भार उत्पन्न करील तें (फ) आहे. यास्तव पृष्ठाचा एका वर्ग इंचेव-
र जितकें घर्षण (श) हें चेपण उत्पन्न करील तें (फ×श) हें होईल. आणि (स) या पृ-
ष्ठावर जितकें घर्षण (स×श) या चेपणाने उत्पन्न होईल तें (फ×स×श) हें होईल. आ-
तां जर तें सर्व घर्षण (प) असलें तर असें फलित होईल ह्मणजे (प=फ×स×श) आ-

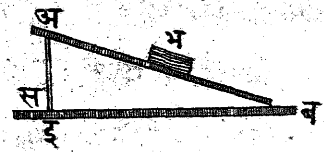
णि

णि (सश) हें पदार्थाचें सर्व चेपण ह्मणजे भार आहे. त्याला जर (भ) ह्मटलें तर असें फलित होतें ह्मणजे (प=फ×भ). हें सलग्न पृष्ठाच्या प्रमाणाच्या स्वाधीन नाहीं.

चेपणाशीं घर्षणाची जी प्रमाणता आहे तदनुरूप जें फल एथें प्राप्त झालें तें कोलोंब आणि जेमिन्स या साहेबांच्या परिक्षांनीं खरें केलें आहे. कोणीएका पदार्थाचा एक ठोकळा निर्निराळ्या प्रमाणाच्या अनेक पृष्ठांचा आहे. तो ठोकळा कोणत्याही पृष्ठावर ठेविला तथापि घर्षण एकसारिखेंच होईल परंतु पूर्वोक्ताप्रमाणें एक दुर्घट प्रकार आहे तो या नियमामध्यें सांपडत नाहीं. कारण जेव्हां चेपण फार लहान आहे आणि सलग्न पृष्ठाचें प्रमाण फार मोठें आहे तेव्हां त्याहून लहान्याच्या पृष्ठापासून जें घर्षण असतें त्यापेक्षां थोडकेसें अधिक घर्षण असतें.

(८) चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण परीक्षेवरून स्थापावयास एक इतर युक्ति आहे. ती उतरणीच्या एका गुणाच्या स्वाधीन आहे. आकृति (२). एथें (अब) या सपाटीवर (भ) या पदार्थाला ठेवावा. ती सपाटी कोणीएका विवक्षित उच्चापर्यंत उचलितां येईं अशी (सब) या समान सपाटीशीं बिजागरांनीं जोडावी.

(आ. २)



नंतर घर्षणाला प्रतिहत करावयाजोगें पदार्थाचें उतरणीपासून सरून खालीं आयाचें जें बल आहे तें पूर्ते होई आणि त्यामुळें तो पदार्थ सरायास प्रारंभ करी इतक्या उच्चानें (अब) या सपाटीला हळू हळू उचलावी. या प्रकारांत पदार्थाचें उतरणीपासून सरून खालीं आयाचें बल घर्षणाशीं समान होईल. आतां (अब) या उतरणीच्या कर्ण (भ) या सगळ्या भाराला दाखवावयास घेतला तर (अइ) ही कोटि उतरणीपासून सरून खालीं आयाचें जें बल आहे त्याला दाखवील आणि (बइ) हा भुज उतरणीवर (भ) या भाराचें चेपण आहे त्याला दाखवील. यास्तव चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण (बइ) यास (अइ) असें होईल. आतां भाराला अनुक्रमे दुप्पट तिप्पट इत्यादि केला असतां उतरणीचें तितकेंच उच्च घर्षणाला प्रतिहत करून पदार्थाला गतिमंत करील असें फलित होईल. यास्तव भार घर्षण

आणि

आणि चेपण यांचामधलें प्रमाण तसेंच रहातें ह्मणजे दुप्पट किंवा तिप्पट चेपण सर्वदां दुप्पट किंवा तिप्पट घर्षण उत्पन्न करितें.

घर्षण आणि चेपण यांचामध्यें जें प्रमाण सतत रहातें तें प्रमाण (अबइ) हा जो कोन उतरणीचा खालचाकडे जायाचा घर्षणाशीं समान असें बल देणारा आहे त्या कोनाचा योगानें दाखवितां येईल. त्या कोनाला (क्ष) ह्मणावा. घर्षणाला (घ) आणि चेपणाला (च) ह्मणावें. आतां जें वर स्थापिलें त्यावरून असें सिद्ध होतें ह्मणजे

घ : च :: अइ : बइ

आणि अइ : बइ :: स्पर्शरेघ (क्ष) : १.

यास्तव घ : च :: स्पर्शरेघ (क्ष) : १ असें सिद्ध होतें. यापासून

घ = च × स्पर्शरेघ (क्ष) असें सिद्ध होतें.

त्या कोनाची स्पर्शरेघ चेपणाशीं जें घर्षणाचें प्रमाण आहे त्याला सर्वदां दाखविती असें दिसतें.

घर्षण संलग्न पृष्ठाचा प्रमाणाचा स्वाधीन नसतें. याविषयीं जें सांगीतलें आहे तें उतरणीचे वयींही परीक्षेवरून स्थापिलें जाईल. कारण कोणत्याहीबाजूवर (भ) हा पदार्थ उतरणीवर ठेविला तथापि (क्ष) हा कोन तसाच होईल असें सिद्ध होईल. यास्तव चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण तसेंच होईल.

(९) घर्षण एकसारिखें क्षयकारक बल आहे असा एक इतर नियम अनुभवावरून सिद्ध झाला आहे. या नियामाविषयीं कांहीं मतभेद नाहीं आणि या विषयाविषयीं जा परीक्षा योजिल्या आहेत त्यांचीं फलें परस्पर चांगलीं अनुरूप आहेत.

जें बल गतिमंत पदार्थाचा आंगीं उत्तरोत्तर अधिक वेग उत्पन्न करितें आणि त्या वेगाचें तें आधिक्य पदार्थाचा गतीचा कालाचा प्रमाणांत असतें तें बल शिल्पविद्येचा पहिल्या निबंधांत सांगीतल्या प्रमाणें एकसारिखें वर्धक

बल

बल आहे. आणि असल्या बलाने प्रेरिलेल्या पदार्थाची गति चमत्कारिक गुणांनीं विशेषित केली आहे. ते गुण असे आहेत ह्मणजे गतीचा प्रारंभापासून जे प्रदेश अतिक्रमिले असतात. ते प्रदेश त्या अतिक्रमण कालाचा वर्गाचा प्रमाणांत असतात. आणि समान असून जो उत्तरोत्तर काल आहे त्यामध्ये झालेले प्रदेश विषम संख्यांचा प्रमाणांत असतात इत्यादि सांगीतलें आतां जें बल गतिमंत पदार्थांचा वेगाचा कांहीं अंशाचा उत्तरोत्तर अभाव करितें आणि जा अंशाचा अभाव या प्रकारें होतो तो गतीचा कालाचा प्रमाणांत असतो तें बल एकसारिखें क्षयकारक बल आहे.

एक मोठें एकसारिखें वर्धक बल आणि लहान एकसारिखें क्षयकारक बल अशीं दोन बलें एकाकालीं योजून त्या बलांनी एक पदार्थ प्रेरिला असतां तो पदार्थ त्या बलांचा अंतराशीं समान जें एकसारिखें वर्धकबलआहे त्या बलाने चालेल असें कार्य होईल हें स्पष्ट आहे. परंतु जें बल पदार्थांचा वेगाला उत्तरोत्तर क्षयगत करितें तें बल जर एकसारिखें नसलें आणि जें बल त्याला वृद्धिंगत करितें तें जर एकसारिखें असलें तर या दोहों बलांचें अंतर ह्मणजे जाणें तो पदार्थ चालतो तें अंतर एकसारिखें वर्धकबल होणार नाहीं. कारण क्षयकारक बलांचेठायीं एकसारिखेपणाचा जो अभाव आहे तो त्या दोहों बलांचा अंतराला लागेल. यास्तव एक वर्धक बल आणि एक क्षयकारक बल या दोहोंनी पदार्थ प्रेरिला असतां तो एकसारिख्या वर्धमान गतीने जर चालतो तर त्याकालीं वर्धकबल एकसारिखें असतां क्षयकारक बलही एकसारिखें असलें पाहिजे अन्यथा आतां सांगीतल्याप्रमाणें पदार्थाची गति एकसारिखी वर्धमान होणार नाहीं.

पूर्वोक्त नियम सांगीतले असतां आतां जा परीक्षांवरून घर्षण एकसारिखें क्षयकारक बल आहे असें ताडिलें आहे त्या परीक्षांचें वर्णन करायास योग्य आहे.

(१०) जें यंत्र (७) कलमांत दाखविलें आहे त्यासारिखें एक यंत्र घेतलें आहे. त्याची (अब) ही समान सपाटी फार मोठ्या लांबीची आहे. (अ) या शेवटाचे जव-

ळ (सड) हा पदार्थ ठेविला आहे. आणि (से) एथे एक वजन टांगिलें आहे. तें वजन सपाटीवर पदार्थाला (अ) यापासून (ब) याकडे सारावयास शक्य आहे. आखुडसाहेबाचें जें यंत्र पहिल्या निबंधांत दाखविलें त्यांत जें चिन्हित ऊर्ध्वाधर मापक घेतलें आहे त्यासारिख्या एका मापकाने एथे (से) या वजनाचें उतरणें मोजिलेंआहे. आणि त्याच यंत्राचे प्रमाणें घड्याळ पाहून तें उतरणें चिन्हित केलें आहे. सपाटीवर (अ) यापासून (ब) यापर्यंत (सड) हा पदार्थ जात असतां तो दोहों बलांनी प्रेरिला आहे. त्यांतलें एक बल ह्मणजे घर्षणावांचून जा बलाने (से) हें वजन पदार्थाला ओढील तें बल एकसारिखें वर्धक बल आहे आणि दुसरें घर्षणापासून जें क्षयकारक बल उत्पन्न होतें तें आहे. आतां पदार्थाची गति एकसारिखी वृद्धिंगत आहे असें जर परीक्षेवरून दाखविलें तर (९) कलमांत जें स्थापिलें त्यावरून घर्षण एकसारिखें क्षयकारक बल आहे असें फलित होईल. कारण (से) या वजनाचें सर्व प्रेरक बल एकसारिखें वर्धक बल आहे आणि जी गति प्राप्त होती तीही एकसारिखी वर्धमान आहे यास्तव (९) कलमावरून क्षयकारक बलही एकसारिखें आहे. घड्याळाच्या कोणी एका ठोक्या सहवर्तमान (सड) या पदार्थाला गति आरंभू द्यावी आणि (से) हें वजन दुसऱ्या ठोक्यासहवर्तमान अडकणावर नाद करील असें त्या ऊर्ध्वाधर मापकावर उत्तरोत्तर परीक्षांनी त्या अडकणाला सूयंत्र करावें. असें केल्यावें जा प्रदेशांतून (सड) हा एका सेकंडांत चालेल तो प्रदेश ज्ञात होईल. पूर्वोक्त प्रमाणे जे प्रदेश दोन तीन चार सेकंडांत अथवा (अब) त्या सपाटीचा लांबींत जितकीं सेकंडें होतील तितक्या सेकंडांत होतील ते प्रदेश ज्ञात होतील. आतां ते प्रदेश (१,२,३,४,) इत्यादि संख्यांच्या वर्गांचा प्रमाणांत असलेवर (सड) या पदार्थाची गति एकसारिख्यापणाने वृद्धिंगत झाली आहे अन्यथा झाली नाहीं. हें पहिल्या निबंधांत स्पष्ट आहे. विन्स साहेबाने परीक्षाची जी परंपरा शुद्धतेने योजिली आहे तींत हा नियम शुद्धतेने सिद्ध झाला आहे.

यावरून असा सिद्धांत होतो कीं "घर्षण एकसारिखें क्षयकारक बल आहे"

आहे."

उतरणीवर परीक्षा केल्यानेही तोच सिद्धांत स्थापिला जाईल. जोंपर्यंत पदार्थ खालीं उतरे तोंपर्यंत ती उतरण जर उचलली तर पदार्थाचें उतरणें वृद्धिंगत होईल असें फलित होईल. घर्षणाचा संबंधावांचून उतरणीचे खालीं उतरण्याचे पदार्थाचें बल एकसारिखें बल असतें यास्तव पूर्वोक्त मूलकारणावरून घर्षण एकसारिखें क्षयकारक बल असलें पाहिजे असें फलित होतें.

(११) चेपणाशीं घर्षणाचा प्रमाणतेचा जो नियम जाणिलेल्या अवस्थेंतला वर वर्णिला आहे तो नियम अनेका बुद्धिमानांनी जा फार मोठ्या आणि निर्निराळ्या परीक्षा योजिल्या आहेत त्यावरून सिद्ध झाला आहे. आणि कोलोंब आणि जर्मिन्स साहेबांनी जा स्थापिल्या आहेत त्यावरून विशेषेंकरून सिद्ध झाला आहे परंतु विन्स साहेबाने त्या नियमाचा शोध करायासाठीं पुनः परीक्षा योजिल्या. त्या परीक्षांचा फलांवरून त्याला असा भास झाला कीं तो नियम सिद्ध होत नाहीं अथवा शुद्धतेने सिद्ध होत नाहीं. याचा पूर्वीं त्या नियमाविषयीं दोष शंका कोणी केली नव्हती. विन्स साहेबाने जा परीक्षांनी कोलोंब साहेबाचा फलांशीं अनन्वित फलें सिद्ध केलीं त्या परीक्षा कोणत्या रीतीने विन्स साहेबाने चालविल्या ती रीति आतां दाखवितो.

घर्षणाचा विचार वर्जिला असतां जेव्हां (सड) हा पदार्थ (अब) या उतरणीवर (से) या वजनाचा कार्याने चालविला आहे तेव्हां जा वर्द्धक बलाने तो पदार्थ चालेल तें (सड) आणि (से) या दोहों वजनांचा प्रमाणाचा स्वाधीन आहे. यास्तव (सड) आणि (से) हीं दोन्हीं जर एकाच प्रमाणाने वाढविलीं तर घर्षणाशीं स्वतंत्र जें वर्द्धक बल आहे तें बदलणार नाहीं असें सिद्ध होतें. जर घर्षण चेपणाचा प्रमाणांत असलें तर (सड) याचा भार जा प्रमाणांत वाढिला त्या प्रमाणांत घर्षणही वाढेल. परंतु (सड) या जा भाराला तें घर्षण वृद्धिंगत करितें तो प्रमाणाने वाढविला आहे यास्तव वर्द्धमानतेचें जें मान घर्षण उत्पन्न करितें तें तसेंच असलें पाहिजे

पाहिजे. यापासून असें फलित होतें ह्मणजे (सड) आणि (से) या वजनांला एकाचप्र-
माणाने वाटविलीं असतां जीं दोन बलें (सड) याला लागतात ह्मणजे वर्द्धक आणि
क्षयकारक बल हीं दोन्हीं बदलत नाहींत. यास्तव त्याचें जें अंतर ह्मणजे वास्तविक
वर्द्धक बलाने (सड) हा चालतो तें अंतरबल बदलणार नाहीं. चेपणाशीं घर्षणाचें जें
प्रमाण आहे तें स्वीकारून (सड) आणि (से) हीं दोन्हीं दुप्पट किंवा तिप्पट किंवा को-
णत्याही इतर प्रमाणाने उणीं किंवा अधिक केलीं तथापि (सड) याचा गतीचा मा-
नांत कांहीं भेद उत्पन्न होणार नाहीं असें फलित होतें.

याचा एक सूक्ष्म शिक्षामालेचा विचार आहे त्याचा अवलोकनेकरून
कित्येका वाचणारांला समाधान होईल. (सड) यांतल्या पदार्थारंभक अवयवांचें मा-
न (म) आहे आणि (से) यांतलें मान (मे) आहे. गुरुत्वाचें वर्द्धक बल (ज) आहे.
आणि चेपणाशीं घर्षणाचें सतत प्रमाण (फ) आहे असें कल्पावें. आणि (म) आ-
णि (मे) या दोहों पदार्थांला जें चालकबल ओढितें ते (मे×ज) हें आहे. यास्तव घर्ष-
णावांचून जा वर्द्धक बलाने ते चालतील तें $(\frac{मे ज}{म+मे})$ हें आहे. कारण चालकबल पदार्था-
रंभक अवयवांचा मानाने भागिलें असतां वर्द्धक बलांशीं समान आहे आणि सपा-
टीशीं (सड) याचें जें घर्षण आहे त्यांशीं जें चालतें बल समान आहे त्याला (फ×म)
हें दाखविलें. आणि तें बल (म) आणि (मे) या एकवटलेल्या पदार्थारंभक अवयवांला
क्षयगत करायाला क्रिया करितें यास्तव त्याशीं अनुरूप क्षयकारक बल $(\frac{फ म}{म+मे})$ हें आ-
हे. आतां जें वास्तविक वर्द्धकबलआहे तें त्या दोहोंचें अंतर आहे ह्मणजे $(\frac{ज मे - फ म}{म + मे})$
हें आहे. त्याला वक्ष्यमाण प्रकारें दाखवितो.

$$\frac{ज - फ \frac{म}{मे}}{\frac{म}{मे} + १}$$

आतां पूर्वोक्ताचें मान (म) आणि (मे) यांचीं जीं केवळ मानें आहेत त्याचा स्वाधीन
नाहीं तें त्याचा प्रमाणाचे मात्र स्वाधीन आहे. आणि जोंपर्यंत तें प्रमाण एकसारिखें राहि-
लें तोंपर्यंत सपाटीवर जा वर्द्धक बलाने (सड) हा चालतो तें बल बदलणार नाहीं.

आतां

भाग घर्षणाचा स्वाधीन नाहीं तो अगदी (सड) आणि (से) या भारांचा प्रमाणाचा स्वाधीन असतो असें पूर्वी सांगीतलें यास्तव जा वर्द्धकबलानें (सड) हा चालतो त्या बलाचें आधिक्य घर्षणापासून जें क्षयकारक बल उत्पन्न होतें त्याचा न्यूनतेपासून उत्पन्न होतें. पुनः तें क्षयकारक बल दोहों विषयांचा स्वाधीन आहे. पहिला विषय चेपणाशीं जें घर्षणाचें प्रमाण आहे तो आणावा आणि दुसरा (सड) आणि (से) या भारांचें प्रमाण आहे. परंतु हा दुसरा विषय बदलत नाहीं यास्तव पहिला कमी होतो ह्मणजे चेपणाचा प्रमाणांत घर्षण वाढत नाहीं तर तें कांहीं कमी प्रमाणानें अधिक होतें असा सिद्धांत होतो.

तो शिक्षामालेचा रीतीनें दाखवितो. जा वास्तविक वर्द्धक बलानें (सड) हा चालतो तें (स) आहे. यावरून असें आहे ह्मणजे

$$स = \frac{अ मे - फ म}{म + मे} = \frac{अ}{\frac{म}{मे} + १} - \frac{फ \cdot \frac{म}{मे}}{\frac{म}{मे} + १}$$

आतां (म) आणि (मे) यांला एकाच प्रमाणानें वाढविलें असतां (स) हें वाढतें असें कल्पावें. नंतर (स) याचा प्रमाणाचा पहिला भाग ह्मणजे $\left(\frac{अ}{\frac{म}{मे}+१}\right)$ हा पूर्वोक्तासारिखा रहातो हें स्पष्ट आहे. यास्तव दुसरा ह्मणजे $\left(फ \frac{\frac{म}{मे}}{\frac{म}{मे}+१}\right)$ हा अगत्य कमी होतो. परंतु $\left(\frac{\frac{म}{मे}}{\frac{म}{मे}+१}\right)$ हा गुणक तसाच रहातो यास्तव (फ) हें कमी होतें. आणि (फ) हें घर्षणाशीं चेपणाचें जें प्रमाण आहे त्याला दाखवितें यास्तव तें या प्रकारामध्ये कमी होईल.

(१२) अशा मूलकारणावर विन्स साहेबानें आपल्या परीक्षा योजिल्या आहेत. (सड) आणि (से) यांचे भार दुप्पट आणि तिप्पट केले असतां जा वर्द्धकबलानें (सड) हा चालला तें बल सतत वाढलें असें त्याला सांपडलें. उदाहरण

ण

ण जेव्हां (सड) हा (१०) औंस आणि (से) हा (४) औंस आहे तेव्हां दोहों सेकंडांत जो प्र-देश क्रमिला तो (९१) इंचा होता. आणि (सड) याला (२०) आणि (से) याला (८) औं-स केला असतां दोहों सेकंडांत क्रमिलेला प्रदेश (५६) इंचा होता. आणि (सड) याला (३०) आणि (से) याला (१२) केला असतां तो प्रदेश (५३) इंचा होता. या प्रकारें इतर अ-नेक परीक्षा त्याणे योजिल्या. त्यांपासून सर्व तशींच सारिखीं फलें उत्पन्न झालीं.

यास्तव विन्स साहेबाने असा सिद्धांत केला ह्मणजे "यद्यपि चेपण वाढविलें असतां घर्षणही वाढतें तथापि तें कांहीं कमी प्रमाणाने वाढतें" स्पष्टार्थ चेपण दुप्पट केलें असतां पूर्वोक्तापेक्षां घर्षण चांगलें समान दुप्पट न झालें आणि चेपण तिप्पट केलें असतां घर्षण पूर्वोक्ताचा तिप्पटापेक्षां कांहीं कमी झालें असें पुढेंही आणावें.

पूर्वींचा स्वीकृत सिद्धांतांशीं भेद करून हा दुसरा सिद्धांत ठरविला असतां त्यापासून जें एक फल उत्पन्न झालें तेंही घर्षणाचा जो गुण पूर्वींच खरा मानिला हो-ता त्याशींही अनन्वित आहे ह्मणजे जर घर्षण चेपणाचा प्रमाणांत असलें तर स-लग्न पृष्ठाचा प्रमाणाचा स्वाधीन नसेल आणि कोणत्याही पृष्ठावर पदार्थ ठेविला त-थापि घर्षण एकत्व राहील असें पूर्वीं दाखविलें. तथापि विन्स साहेबाचा फलाप्र-माणे चेपणाहून लहान्या प्रमाणाने घर्षण जर वाढतें तर एकाच चेपणाचे खालीं सल-ग्न पृष्ठ वाढविलें असतां घर्षणही वाढेल असें फलित होतें.

त्याचें निरूपण करावयास पूर्वींचा प्रकरांतल्या प्रमाणे असें कल्पावें ह्मण-जे जा ठोकळ्याचें वजन सोळा औंस आहे त्याचें पृष्ठ सोळा वर्गइंचांचा प्रमाणांचें आ-हे आणि त्याचा धारेचें प्रमाण एक वर्गइंच आहे. आतां जेव्हां तो ठोकळा आप-ल्या पृष्ठावर ठेविला तेव्हां सोळा वर्गइंचा पृष्ठावर सोळा औंसांचें चेपण होईल. नंतर सर्व घर्षण आठ औंस आहे असें कल्पावें. आतां प्रत्येका वर्गइंचेवर एका औंसा-चें चेपण होईल. त्यापासून अर्ध औंसाचें घर्षण उत्पन्न होईल. आतां तो ठोकळा आपल्या धारेवर ठेविला आहे असें कल्पावें. या प्रकारांत एक वर्गइंच पृष्ठावर सोळा औंसांचें चेपण होईल. एका वर्गइंचेवर एका औंसाचें चेपण अर्ध औंस घ-

र्षण

र्षण उत्पन्न करीत असतें आणि घर्षण चेपणाहून लहानाप्रमाणाने वाढत असतें. या-स्तव एका वर्गइंचेवर सोळा औंसांचें चेपण आठ औंसांहून कांहीं कमी घर्षण उत्पन्न करील असें फलित होतें. यास्तव ठोकळा आपल्या धारेवर ठेविला असतां जें घर्षण असतें त्याहून ठोकळा आपल्या पृष्ठावर ठेविला असतां जें घर्षण असतें तें मोठें आहे. आणि सामान्यतः त्याच प्रकारें असें फलित होतें ह्मणजे एकाच घर्षणाचे खालीं सल्लग्न पृष्ठ वाढविलें असतां घर्षण वाढतें.

हा सिद्धांत याचा पूर्वीचा सिद्धांताप्रमाणे त्या स्वीकृत मताशीं अनन्वित झाला यास्तव परीक्षांसाठीं जा रीति पूर्वीं सांगितल्या त्या रीतिप्रमाणें योजिलेल्या परीक्षांमध्ये विन्स साहेबाने तो सिद्धांत ठेऊन अनेका परीक्षांवरून जीं फलें प्राप्त केलीं त्या फलांनी जें फल त्याणे पूर्वीं सिद्ध केलें होतें तें खरें केलें. तें असें आहे. (से) या कोणीएका आणिलेल्या वजनाने सपाटीवर उत्पन्न झालेली (सड) याची गति चेपण एकच असतां जसें जसें सल्लग्न पृष्ठ कमी केलें तशी तशी ती वर्द्धमान झाली असें त्याला सांपडलें. यापासून जीं मूलकारणें सांगितलीं आहेत त्यांवरून घर्षणही कमी झालें हें फलित झालें.

उदाहरण. कोणीएका पदार्थाचा पृष्ठाशीं त्याचा धारेचें प्रमाण (२२) यांस (९) आहे. असा पदार्थ घेऊन आपल्या पृष्ठावर ठेवून (से) या वजनाने चालविला असतां जर दोहों सेकंडांत (२२ $\frac{१}{२}$) इंचांतून चालतो तर त्याच वजनाने तोच पदार्थ आपल्या धारेवर ठेविला असतां तितक्याच काळांत (४७) इंचांतून चालेल.

पुनः पृष्ठाशीं धारेचें प्रमाण जेव्हां (३२) यांस (३) असें होतें तेव्हां जे प्रदेश दोहों सेकंडांत तो पदार्थ चालिला ते (३२) आणि (३७ $\frac{१}{२}$) इंचा होते. या प्रकारें इतर अनेक परीक्षा योजिल्या होत्या आणि त्यांचीं फलेंही त्या सारिखीं होतीं.

(१३) जा परीक्षांवरून घर्षणाशीं चेपणाची प्रमाणता ठरविली होती त्या परीक्षा फारकरून विन्स साहेबाचा मूलकारणापेक्षां निराळ्या मूलकारणावरून चालविल्या होत्या. त्या परीक्षांमध्ये (सड) या पदार्थाला समान पृष्ठावर स्थिर ठे-

विला

विला असतां गतिमंत करायासजें बल पाहिजे त्या बलाने सामान्यतः घर्षण मोजिलें होतें तथापि विन्स साहेब घर्षण मोजायाचा त्या रीतिविषयीं अनेक शंका करितो. पहिल्याने तो अशी शंका करितो कीं पदार्थाला गतिमंत करायाला जें बल पाहिजे तें घर्षणाहून अगत्य अधिक पाहिजे. चांगल्या शास्त्रार्थावरून पाहिलें असतां ही शंका खरी आहे याविषयीं संशय नाहीं परंतु अनुभवावरून पाहिलें असतां ही शंका हलकीशी दिसती. जें वजन घर्षणाला समतोलनांत राखून पदार्थाला गतिमंत न करितां जा अवस्थेंत त्याला किंचित् अधिक बल प्राप्त झालें असतां गतिउत्पन्न होईल अशा अवस्थेंत आणिलें तें वजन जेंबल घर्षणाशीं समान आहे तेंबल आहे. जर परीक्षा सूयंत्र योजिली तर जें वजन गति उत्पन्न करावयास मात्र सांपडतें तें घर्षणाहून इतक्या थोडक्या मानाने अधिक होईल कीं शोधाच्या फलांमध्ये कांहीं प्रत्यक्ष कार्य उत्पन्न होणार नाहीं.

विन्स साहेबाने इतर शंका केली आहे. ती अशी कीं पदार्थाचा स्थिर अवस्थेपासून गतीला निरोध करणारें जें बल आहे तें केवल घर्षणच नाहीं तर घर्षण आणि स्नेहाकर्षणबल हीं दोन्हीं मिळून आहेत. सामान्यतः पाहिलें असतां घर्षणापेक्षां स्नेहाकर्षण फार मोठें असतें हें खरें करावयास त्याणे अनेक परिक्षा योजिल्या. यावरून असें स्थापिलें कीं पदार्थाला गतिमंत करायास जें बल पाहिजे तें गति झाल्यानंतर तिला एकसारिखी ठेवावयास जें बल पाहिजे त्याहून फार मोठें असतें. तेंआणिहें दुसरें बल घर्षणाचें खरें मान आहेत असें मानिलें.

एक पदार्थ दुसऱ्यावर स्थिर असतां त्याला गतिमंत करावयास जें बल प्रेरक असतें त्या बलाला तो पदार्थ जो प्रतिरोध करितो तो प्रतिरोध तोच पदार्थ दुसऱ्यावर चालत असतां त्याचें जें घर्षण असतें त्याहून मोठा आहे. हा विषय कोलोंब साहेबाने स्पष्ट दाखविला आणि फार शुद्धतेने शोधिला परंतु तो प्रतिरोध अगदीं घर्षणाकडे आहे असें तो सांगतो. यास्तव परीक्षांवरून स्थापिलें आहे असें जें मूलकारण दाखवितो तें असें आहे ह्मणजे पदार्थ स्थिर असतां त्या-

चें

चें जें घर्षण असतें तें घर्षण तेंच पदार्थ गतिमंत असतां त्यांचें जें घर्षण असतें त्याहून मोठें असतें.

पदार्थ स्थिर असतां त्याचें तें घर्षण पदार्थांचा सल्लग्न कालासहवर्तमान कोणी एका मर्यादेपर्यंत वाढतें ह्मणजे जेव्हां एक पदार्थ दुसऱ्यावर स्थिर असतो तेव्हां त्याचा पृष्ठाचें घर्षण जोंपर्यंत आपल्या सर्वांहून मोठ्या मानाचें होई तोंपर्यंत तें वाढून नंतर एकसारिखें रहातें आणि कितीही कालापर्यंत त्या पदार्थाला सल्लग्न राहूं दिले तथापि घर्षण वाढत नाहीं. जा कालांत घर्षण आपल्या सर्वांहून मोठ्या मानापर्यंत वाढतें ते काल निर्निराळ्या पदार्थांचे ठायीं निर्निराळे आहेत. दोन्हीं पदार्थ जर लांकूड असले तर तो काल एक अथवा दोन मिनिटांचा आहे. ते दोन्हीं जर धातूचे असले तर तो काल इतका लहान असतो कीं त्याचें प्रत्यक्ष होत नाहीं. जेव्हां धातूचा पृष्ठावर लांकूड ठेविलें तेव्हां अनेका दिवसांपर्यंत घर्षण वाढत जात असतें.

पदार्थ स्थिर असतां त्याचा जो प्रतिरोध असतो तो प्रतिरोध तेच पदार्थ परस्परांवर चालत असतां त्याचें जें घर्षण असतें त्याहून फार मोठा असतो. या विषयीं कोणाचा मतभेद नाहीं. परंतु जा प्रश्नाचें उत्तर द्यायाचें आहे तो असा आहे ह्मणजे तो प्रतिरोध केवळ घर्षण आहे किंवा घर्षण आणि स्नेहाकर्षण या दोहोंचें मिश्रित कार्य आहे? आणि जर मिश्रित कार्य आहे असें मानिलें तर घर्षणाशीं स्नेहाकर्षण कोणतें प्रमाण ठेवितें? या विषयाविषयीं विन्स साहेबाचा ऊहापोह चांगला नाहीं कारण पदार्थ स्थिर असतां त्याचा प्रतिरोध घर्षण आणि स्नेहाकर्षण या दोहोंचें मिश्रित कार्य आहे असें तो पहिल्याने स्वीकारितो. एथपर्यंत त्याचें बोलणें ग्राह्य आहे कारण स्नेहाकर्षण बल अशा बलाची सत्ता जर स्वीकृत मानिली तर तें एका पदार्थावर दुसऱ्यांचा गतीचा प्रतिरोध करायासाठीं घर्षणाशीं न्यूनाधिक मिळालें पाहिजे तें बल मिळालें नाहीं असेंही फार करून ह्मणतां येत नाहीं. परंतु विन्स साहेबाचा परीक्षांचा फलांविषयीं एक

इतर

इतर काठिन्य उत्पन्न होतें. आतां एका पदार्थावर दुसऱ्या पदार्थाची गति स्नेहाकर्षकत्वाच्या अभाव करिती किंवा नाहीं? असें विचारितो. जर करीत नाहीं असें मानितोस तर पदार्थ स्थिर असतां त्याचा प्रतिरोध घर्षण आणि स्नेहाकर्षण या दोहोंचा एकवटलेल्या कार्यापासून आहे असें सांगून तेच पदार्थ गतिमंत असतां त्याचा प्रतिरोध अगदी घर्षणापासून आहे असें कशासाठीं सांगतोस? अतःपर या शंकेचा विचार पुढें करणार नाहीं.

पदार्थ स्थिर असतां त्यांचा प्रतिरोध तेच पदार्थ एकमेकावर चालत असतां त्यांचा घर्षणाहून जो मानाने अधिक असतो तें सर्व मान स्नेहाकर्षणाचें कार्य आहे असेंही विन्स साहेब मानितो. यांत पदार्थ स्थिर असतां त्याचें जें घर्षण असतें तें पदार्थ गतिमंत असतां त्याचा घर्षणाशीं समान असतें असा एक गूढार्थ मानिला आहे हें स्पष्ट आहे. कारण पदार्थ स्थिर असतां त्याचा सर्व प्रतिरोध घर्षण आणि स्नेहाकर्षण या दोहोंचा कार्याचा बेरीजेपासून उत्पन्न होतो आणि त्या बरीजेपासून गतींतलें घर्षण जर वजा केलें तर जो शेष रहातो तो स्थिर स्थितींतलें घर्षण आहे असेंही तो मानितो.

घर्षण आणि स्नेहाकर्षण या दोहोंचा प्रतिरोधाचे जे भाग दाखवावयाचे आहेत त्यांचें प्रमाण जर विचारामध्ये शिरविलें तर तें ठरावयास परीक्षा योजाव्या लागतील आणि विन्स साहेबाने जें फल स्वीकृत केलें त्याशीं एक अगदी निराळें फल त्या परीक्षांवरून सिद्ध होईल असें वाटतें. आणि फारकरून सर्व प्रकारांमध्ये स्नेहाकर्षण घर्षणाशीं फार लहान प्रमाण ठेवावयास प्रत्यक्ष होईल यास्तव. स्थिर स्थितींतलें घर्षण गतींतल्या घर्षणाहून फार मोठें होईल असें वाटतें.

स्नेहाकर्षणाचें मान वक्ष्यमाण प्रकारें ज्ञात होईल असें वाटतें म्हणजे जो पदार्थ सपाटीवर रहातो त्याचा गुरुत्वमध्याचा नीट वर एका बिंदुशीं त्या पदार्थाला एक दोरी जोडून तिला ऊर्ध्वाधर दिशेंत नेऊन एका बेठ्या

कपीवर

कपीवर त्याची आणि तिशीं सपाटीवरच्या पदार्थाशीं जें वजन समान आहे तें वजन टांगावें. तें वजन पदार्थाशीं समतोलनांत होईल. आतां ज्या बलाने पदार्थ सपाटीशीं सलग्न राहिला तें बल स्नेहाकर्षणाचें मात्र होईल. आतां जें वजन पदार्थाशीं समतोलनांत आहे त्यावर जोंपर्यंत पदार्थ सपाटीपासून उचलिला जाईल तोंपर्यंत लहान वजनें अथवा बारीक वाळू ठेवावी. हें जें वजन अधिक आहे तें स्नेहाकर्षणाचें मान दाखवील. आणि जें इतर वजन सपाटीशीं समांतर दिशेंत क्रिया करून त्या पदार्थाला सपाटीवर सारवितें त्यापासून तें अधिक वजन वजा केलें असतां जें शेष रहातें तें स्थिर स्थितींतल्या घर्षणाचें खरें मान होईल हें स्पष्ट आहे. अशा मूलकारणावरून परीक्षा योजावयास कांहीं अवसर सांपडला नाहीं परंतु असें सांगायास फार लागतें कीं फारकरून सर्व प्रकारांमध्ये घर्षणाशीं स्नेहाकर्षणाचें प्रमाण फार थोडकें असेल असें दिसेल.

सलग्नतेच्या कालानुरूप घर्षण वाढतें. याचें ज्ञान व्हावयास कठिन नाहीं कारण पृष्ठाचे जे अनेक अणु आणि विषमता आहेत त्या एक पृष्ठ दुसऱ्यावर चालत असतां ज्या कर्तृत्वाने एकमेकामध्ये शिरतील त्यापेक्षां चेपण कांहीं कालपर्यंत राहिलें असतां अधिक कर्तृत्वाने शिरतात. उक्तप्रकाराप्रमाणे दोन कुंच्या एकमेकावर ठेविल्या असतां हें वर्णितां येईल. वरच्या कुंचीवर एक वजन ठेविलें असतां त्याचें चेपण एकाच्या केशांला दुसऱ्याच्या केशामध्यें शिरवून खाली आवयास कारण होईल. तथापि हा व्यापार हळू हळू चालेल आणि कांहीं अवकाश झाल्यानंतर बंद होईल. आतां एक कुंची दुसरीवर गतिमंत करावयास फार बल पाहिजे. आणि ती गतींत असली असतां तेंच चेपण केशांची तितकी मोठी मिश्रिता उत्पन्न करणार नाहीं कारण कुंच्यांचा कोणत्याही एका स्थितींत तितकें मोठें कार्य उत्पन्न करावयास पूर्ता काल सांपडणार नाहीं. त्या कार्याचा जर सूक्ष्म विचार केला तर कौलोंब साहेबाच्या परीक्षांवरून घर्षणाचे जे गुण ठरविले आहेत त्यांशीं चांगला स्नेह आणि अनुरूपता तीं कार्यें ठेवितात असें दिसेल. आणि स्थिर स्थितींतलें घर्षण गतींतल्या घर्षणाहून मोठें आहे

या

या आश्चर्याचें वर्णन त्याणी न केलें तथापि तीं त्याला कांहीं स्पष्ट करितात.

जा पदार्थांचा विचार करावयाचा आहे ते स्थिर स्थितीपासून गतीमंत कले असतांच त्यांचा घर्षणाचा मानाचा शोधाविषयीं कोलोंब साहेबाचा परीक्षा नियमित केल्या होत्या असें नाहीं तर पदार्थ गतींत असतांही त्यांचें घर्षण त्या साहेबानें शोधिलें आणि त्याणे विन्स साहेबाचा कांहीं रीतीसारिख्या रीतीने घर्षण एकसारिखें क्षयकारक बल आहे असें ठरविलें. आणि निर्निराळ्या पदार्थांचे ठायीं स्थिर स्थितींतलें घर्षण आणि गतींतलें घर्षण त्यांचें मधलें प्रमाणही त्याणे शोधिलें. त्यावरून तें प्रमाण निर्निराळ्या पदार्थांचे ठायीं निर्निराळें असतें असें सांपडलें. लांकूडाचे ठायीं स्थिर स्थितींतलें घर्षण चेपणाचा अर्धा इतकें आणि गतींतलें घर्षण चेपणाचा अष्टमांश इतकेंच सांपडलें. लांकूड आणि धातू याचे ठायीं स्थिर स्थितींतलें घर्षण चेपणाचा पंचमांश इतकें आणि गतींतलें घर्षण चेपणाचा द्वादशांश इतकें सांपडलें. धातूचे ठायीं त्या दोहों घर्षणांमध्ये कांहीं प्रत्यक्ष अंतर दिसलें नाहीं.

(१४) घर्षण एकसारिखें क्षयकारक बल आहे या विचारावरून असें फलित होतें ह्मणजे तें वेगाचा स्वाधीन नाहीं. कारण वेग सतत वाढला असतांही तें बल एकच रहातें. सर्व परीक्षांचीं फलें या फलांचा जवळ जवळ अशीं आहेत.

(१९) आतां जें सर्व सांगीतलें त्यापासून सहज असें कळू येईल कीं घर्षणाचा स्वभाव आणि गुण यांविषयीं उघड करावयास अद्यापि फार राहिलें आहे. कोलोंब आणि विन्स या साहेबांचा परीक्षा समान शुद्धतेने योजिल्या आहेत आणि जीं विद्येचीं तशींच शुद्ध मूलकारणें आहेत त्याणी त्या नियमिल्या आहेत असें दिसतें तथापि चेपणाशीं घर्षणाचा प्रमाणाचें जें आदि आणि मोठें मूलकारण आहे त्याविषयीं त्या फार वेगळाल्या आहेत असें सांपडतें. तथापि जमिन्स आणि अनेक इतर साहेब याचा परीक्षांनी आपल्या फलांविषयीं कोलोंब साहेबा- 'क्षा सर्वथा आश्रिल्या आहेत. आणि असें दिसतें कीं विन्स साहेब स्वतः यांशीं निराळा रहातो. जमिन्स साहेबाचा परीक्षा आपआ-

पल्या

पल्यामध्ये आणि कोलोंब साहेबाचा परीक्षांशीं कांहीं थोडक्या अनन्वित आहेत. त्या तशा झाल्या त्यांचा प्रकार असा आहे ह्मणजे स्थिर स्थितींतलें घर्षण सलुग्नतेचा कालाचा स्वाधीन असतें हा प्रकार त्याणे मानिला नाहीं आणि जोंपर्यंत घर्षण आपल्या सर्वांहून मोठ्या मानाचें होई तोंपर्यंत अवकाश न पाहून त्याणे पदार्थाला गतीमंत केले.

(७६) जीं फळें सांगीतलीं त्यांशिवाय इतर विषय आहेत. ते कोलोंब साहेबाचा परीक्षांवरून स्पष्ट झाले आणि ते एथे सांगावयास योग्य आहेत.

पृष्ठाचा प्रकाराप्रमाणे घर्षण सामान्यतः बदलतें. नवें रोखलेल्या लांकूडाचेठायीं घर्षण चेपणाचें अर्धें असतें. धातूचेठायीं चतुर्थांश आणि धातू आणि लांकूड याचेठायीं पंचमांश असतें.

जशीं जशीं पृष्ठें घासण्याने वापरलीं जातात तसें तसें घर्षण सामान्यतः कमी होतें परंतु त्या कमीपण्याला कांहीं अवधि आहे आणि घर्षण आपल्या सर्वांहून लहान्यामानाकडे लवकर आतें. लांकूडांमध्ये चेपणाचा अर्धापासून घासण्यामुळें घर्षण त्याचा तृतीयांश होतें.

लांकूडाचेठायीं दोहोंचा शिरा एकाच दिशेंत योजिल्या असतां जें घर्षण असतें त्याहून लांकूडाचा शिरा परस्परांशीं काटकोनांत योजिल्या असतां त्याचें घर्षण कमी असतें. पहिल्या प्रकारांत घर्षण चेपणाचें अर्ध असतें आणि दुसऱ्या प्रकारांत चेपणाचा चतुर्थांश असतें.

सामान्यतः एकाच जातीचा पृष्ठामध्ये जें घर्षण असतें तें निर्निराळ्या जातीचा पृष्ठाचा घर्षणाहून मोठें असतें.

ज्या कालापर्यंत घासणे कमी होत जातें तोंपर्यंत घर्षण एकसारिखें क्षयकारक बल नसतें या स्तव जोंपर्यंत तें कार्य बंद होई तोंपर्यंत घर्षण वेगाशीं स्वतंत्र होणार नाहीं असें दिसेल.

जसा जसा सलुग्न पृष्ठाचा गुळगुळीतपणा वाढतो तसें तसें घर्षण कमी

मी होत आतें तथापि पृष्ठांचा गुळगुळीतपणा फार वाटला तर स्नेहाकर्षणापासून फार मोठा प्रतिरोध उत्पन्न होईल.

सल्लग्न पृष्ठांला कांहीं चिकण पदार्थ ह्मणजे तेल वंगण आदिकरून चोपडलें असतां घर्षण कमी होतें. वंगणाचा घटपणा जसा मोठा असतो तसा लाभही मोठा असतो असें कोलोंब साहेब मानितो. ताजी चरबी घर्षणाला अर्धा इतकें कमी करिते.

विन्स साहेबाचा फलावरून सल्लग्न पृष्ठ कमी कलें असतां घर्षणही कमी होतें असें दिसतें तथापि हें एक साधारण बीज आहे असें मानिलें असतांही त्याला अनुभवामध्ये एक स्पष्ट मर्यादा आहे कारण जर एक पृष्ठ लहान असलें आणि दुसरें मऊ असलें तर एका पृष्ठाने दुसऱ्यांत खंचणी केली आईल. त्यामुळें घर्षण उत्पन्न होईल.

भाग ३

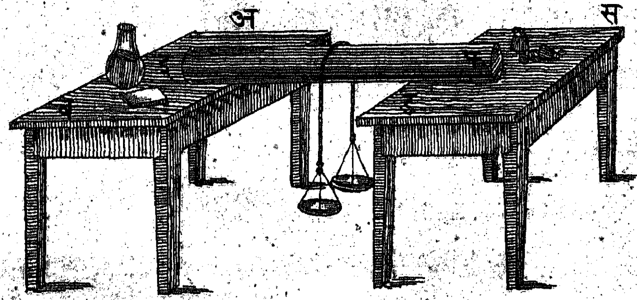
एक पदार्थ दुसऱ्या पदार्थाचा पृष्ठावर लोटत असता त्यांचा घर्षणा विषयीं.

(१७) जेव्हां एक पदार्थ दुसऱ्यावर लोटतो तेव्हां मागल्या भागांत सांगीतल्या प्रमाणे पदार्थ सरत असतां घर्षण गतीचा जो प्रतिरोध करितें त्याहून तें एथे फार कमी प्रतिरोध करितें हें स्पष्ट आहे. या प्रकारांत एका पृष्ठाचे भाग दुसऱ्या भागांपासून अनुक्रमें फारकरून उचलिले जातात आणि सरण्याचा जो प्रकार सांगीतला त्यापासून अगदी वेगळ्या प्रकारें त्याचा पृष्ठांचे अणु क्रिया करितात. या प्रकारांत दोन्हीं अथवा दोहोंमधून एक पदार्थ एका वर्तुल पृष्ठाने आवरलेला असा पाहिजे. यास्तव तसलें सल्लग्न पृष्ठ अगत्य फार लहान असतें यास्तव तें घर्षणाचा कमीपणाचें एक इतर कारण होतें. लोटणारा पदार्थ जर सिलिंडराकार असला तर पृष्ठाची सल्लग्नता सिलिंडराचा पृष्ठावर एकासरल रेषाकार होईल आणि जा पृष्ठावर तें सिलिंडर लोटतें तें पृष्ठ जा सिलिंडराचा आंस पहिल्याचा आंसाशीं समांतर आहे त्याचें पृष्ठ आहे अथवा एक सपाटी आहे असें जाणावें. आणि

णि जर लोटणारा पदार्थ गोल किंवा लांबोडा गोल किंवा कोणी एका त्या सारिख्या इतर आकाराचा असला तर सल्लग्न पृष्ठ एक बिंदु आहे.

या जातीचा घर्षणाच्या गुणाची परीक्षांवरून शोधायाची रीति वर्णन करायास असें कल्पावें ह्मणजे (अब) आणि (सड) या दोन चांगल्या समान मेजा एकाच समान सपाटीवर ठेविल्या आहेत, आकृति (३) या आकृतींत त्या मेजांवर (इफ) या सिलिंडराचा आंस त्या मेजांचा लांबीचा दिशेशीं काटकोनांत योजून सिलिंडराला ठवावें. त्या मेजांचा अंतरामध्ये सिलिंडरावर एक नम्र दोरी योजावी. तिचा शेवटांला समान भारांचीं परडीं टांगावीं. नंतर त्या परड्यांत समान

(आ. ३)



वजनें ठेविलीं असतां मेजांवर कोणतेंही विवक्षित चेपण उत्पन्न करितां येईल. आतां एका परड्यांत जोंपर्यंत त्याचें आधिक्य सिलिंडराला गति मात्र देई तोंपर्यंत बारीक वाळू घातली असतां तें अधिक वजन घर्षणाशीं समान होईल.

या प्रकारें सिलिंडराचा व्यास आणि सामर्थ्य आणि जें चेपण सिलिंडर सपाटीवर करितें हीं तिन्हीं विवक्षितानुरूप बदलितां येतील. परीक्षा करीत असतां प्रत्येका योजनेमध्ये प्रत्येका दिशेंत सिलिंडराला फिरवील इतकीच प्रत्येका परड्यांत अनुक्रमें वाळू घालावी. आणि जीं वजनें गति उत्पन्न करितील तीं जर कांहीं लहान अंतराने निराळीं असलीं तर त्यांचें मधलें मान घर्षणाला दाखवायास घ्यावें.

(१८) कोलोंब साहेबाने जा अनेक परीक्षा उक्तप्रकारें योजिल्या त्यांचीं फलें वक्ष्यमाण प्रकारचीं होतात ह्मणजे

पहिलें. एकाच सिलिंडराचा ठायीं घर्षण चेपणाचा प्रमाणांत असतें.

दुसरें

दुसरें. एकाच सामग्रीचीं सिलिंडरें ज्यांला निर्निराळे व्यास असून चेपणें समान आहेत त्यांचेठायीं घर्षण व्यासाचा व्यस्त प्रमाणांत असतें.

तिसरें. एकाच सामग्रीचीं दोन सिलिंडरें ज्यांचे व्यास आणि चेपणें हीं दोन्हीं निर्निराळीं असतात त्यांचेठायीं घर्षण चेपणांचा समप्रमाणांत आणि व्यासांचा व्यस्तप्रमाणांत असतें ह्मणजे दोहों चेपणांचे समप्रमाण आणि दोहों व्यासांचें व्यस्तप्रमाण या दोहोंचें जें मिश्रित प्रमाण आहे त्यांत असतें

ज्यांला शिक्षामालेची परिभाषा माहीत नाहीं त्यांला पूर्वोक्त दोहों फलांचें वर्णन दाखवितो. आतां एकाचा व्यास दोन आणि दुसऱ्याचा व्यास पांच इंचा आहे अशीं दोन सिलिंडरें घेऊन तीं दोन्हीं मेजावर समान चेपण करितात असें कल्पावें. आतां असें प्रत्यक्ष होईल कीं दोहों इंचांचा सिलिंडराचें घर्षण पांच इंचांचा सिलिंडराचा घर्षणाहून पांच यांस दोन यांचा प्रमाणानें अधिक होईल.

पुनः दोहों इंचांचें सिलिंडर तीन रतलांचें चेपण करितें आणि पांच इंचांचें सिलिंडर सात रतलांचें चेपण करितें असें कल्पावें. आतां असें सिद्ध होईल कीं दोहों इंचांचा सिलिंडराचें घर्षण पांच इंचांचा सिलिंडराचा घर्षणाशीं पांच आणि तीन यांचा गुणाकार दोन आणि सात यांचा गुणाकाराशीं जसें प्रमाण ठेवितो ह्मणजे पंधरा चौदाशीं तसें प्रमाण ठेवील.

पृष्ठांला वंगण लाविलें असतांही या जातीचें घर्षण कांहीं कमी होत नाहीं असें सांपडलें.

जेव्हां मेहागनी लांकूडाचें सिलिंडर सुमारें तीन इंचा व्यासाचें घेतलें आणि तें ओक् लांकूडाचा पृष्ठावर लोटविलें तेव्हां घर्षण चेपणाचा सुमारें षोडशांश होतें आणि जेव्हां एल्म लांकूडाचा पृष्ठावर लोटविलें तेव्हां घर्षण चेपणाचा शतांश मात्र होतें.

यास्तव स्पष्ट आहे कीं एकाच जातीचा पदार्थांचेठायीं या जातीचें घर्षण सरण्याचा घर्षणाहून फार कमी असतें.

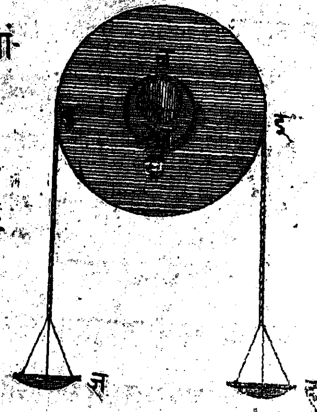
या परीक्षांमध्ये जी दोरी उपयोगांत घेतली आहे ती अशी नम्र पाहिजे कीं

तिची

एक पृष्ठ दुसऱ्या पृष्ठाशीं सह्लग्न असून लोटण्यावांचून तें त्याचा भोंवती फिरतें यांचा घर्षणाविषयीं.

(१९) जा पदार्थाला वर्तुल आकृति आहे तो कोणी एका पृष्ठावर कोणीएका बलाने चेपून त्याच काळीं त्याच पृष्ठावर न लोटूं देतां त्या पृष्ठाभोंवतीं जर फिरविला तर एका जातीचें घर्षण उत्पन्न होईल. तें जा जातीचा घर्षणाचा एथपर्यंत विचार केला त्याहून निराळें आहे. मागल्या दोहों भागांत जा घर्षणांचा विचार केला त्यांतल्या प्रत्येकाचा स्वभावा सारिखा प्रकृत जातीचा घर्षणाचा स्वभाव आहे असें दिसतें. पहिलें ह्मणजे एक पृष्ठ दुसऱ्यावर सरतें आणि दुसरें ह्मणजे सह्लग्न पृष्ठ एकरेषा झाली आहे. या दोहोंचें सादृश्य असें सिद्ध होतें कीं या प्रकृत घर्षणाचें मान एका जातीचा योजनेमध्ये त्या दोहोंचा मधलें एक स्थान घेतें ह्मणजे सरण्याचा घर्षणाहून कमी आणि लोटण्याचा घर्षणाहून अधिक असतें.

या घर्षणाचें वर्णन आणि जा परीक्षांनी त्याचे गुण ठरविले जातात त्यांचें वर्णन करायाला असें कल्पावें. (४) आकृति. एथे (अब) हा एक भरींव आंस आहे तो जा पोकळ सिलिंडराचा (सब) हा व्यास (अब) याचा व्यासाहून कांहीं अधिक आहे त्यांत (अब) यावर (बस) हें पोकळ सिलिंडर फिरें असा शिरविला आहे. या पोकळ आणि भरींव अशा दोहों सिलिंडराचा अक्षरेषा समान ठेऊन सिलिंडरें योजावीं. आणि तें पोकळ सिलिंडर (डइ) या चक्राचा मणी आहे असें मानावें. या चक्राचा घेरावर केलेल्या खंचणींत एक फार नम्य दोरी योजावी आणि तिचा शेवटांशीं (ज) आणि (ह) हीं



(आ. ४)

परडीं टांगावीं. आंस आणि पोकळ सिलिंडर यांचा आकार आणि जा रीतीने चक्राचा भार क्रिया करितो ती रीति यादोहोंचा कारणामुळे आंस आणि सिलिंडरयाचे सलग्न बिंदु जी सरळ रेषा सिलिंडराचा आंसातून शिरलेल्या ऊर्ध्वाधर सपाटीने सिलिंडराचा पृष्ठाशीं छिन्न झाली आहे त्या रेषेंत होतील ह्मणजे (ब) यासलग्न बिंदूपासून सिलिंडराचा आंतल्या पृष्ठसहवर्तमान आकृतीच्या पृष्ठावर एक लंबरेषा केली आहे असें जर कल्पिलें तर आंस आणि सिलिंडर हीं त्यालंबरेषेंत परस्परांला स्पर्शतील इतर बिंदूवर स्पर्शणार नाहींत. यास्तव असें दिसतें कीं जसें गाडीचा चक्राचे ठायीं घडतें तसें तें पोकळ सिलिंडर आंसाचेभोंवतीं फिरायास जर कल्पिलें तर पोकळ सिलिंडराचा पृष्ठाचे प्रत्येक भाग घर्षणाचा कार्याकडे अनुक्रमे येतात आणि त्याकाळीं आंसाचा जो भाग आंसाचा छिन्नांगाचा (ब) या बिंदूतून गेला आहे त्यावांचून दुसरा कांहीं भाग त्या कार्याला अनुभवीत नाहीं. आतां दुसऱ्या पक्षीं जसें कधीं घडतें तसा आंस सिलिंडराचा आंत जर फिरला तर पहिल्याशीं विरुद्ध कार्य उत्पन्न होतें ह्मणजे आंसाचें सगळें पृष्ठ घर्षणाचा कार्याचा अनुभव अनुक्रमे घेत असतें आणि त्याकाळीं पोकळ सिलिंडराचा पृष्ठावरचा एका रेषेवर मात्र तें कार्य घडतें.

(ज) आणि (ह) या परड्यांत कोणतींही समान वजनें घातलीं असतां त्या आंसावर कोणतेंही विवक्षित चेपण योजितां येईल. आतां हीं परडीं समतेने भारीं केलीं असतां जों पर्यंत चक्राला गति मात्र उत्पन्न होई तोंपर्यंत कांहीं बारीक वाळू एका परडयांत घातली तर वाळूचा भार घर्षणाचें मान सूचवायास पुरी होईल.

तथापि या प्रकारांत जें भाराचें आधिक्य आहे तें घर्षणाचें खरें मान दाखवीत नाहीं. कारण तें चक्र आपल्या (ऐ) या केंद्रावर फिरविलें आहे आणि जें घर्षण त्या गतीला प्रतिरोध करितें तें (ब) एथे क्रिया करितें यास्तव (ब ऐ) या तरफपणाने तें क्रिया करितें. त्याकाळीं जें भाराचें आधिक्य

घर्ष

घर्षणाला प्रतिहत करितें तें (इ ऐ) या तरफणानें क्रिया करितें. हें सर्व विचारांत आणिलें पाहिजे. घर्षण (घ) आहे आणि भाराचें आधिक्य (भ) आहे असें कल्पावें. आतां तरफेचा स्थापिलेल्या गुणांनी असें प्राप्त होतें ह्मणजे

$$घ : भ :: इऐ : बऐ$$

यास्तव $घ = भ \frac{इऐ}{बऐ}$ असें सिद्ध होतें ह्मणजे जें भाराचें आधिक्य गति उत्पन्न करितें तें चक्राचा अर्धव्यासानें गुणून जें पोकळ सिलिंडर आंसावर फिरतें त्याचा अर्धव्यासानें भागिलें असतां जें फल उत्पन्न होतें तें घर्षणाशीं समान आहे.

सारांश. सिलिंडराचा अर्धव्यासाशीं चक्राचा अर्धव्यासाचें जें प्रमाण आहे त्या प्रमाणांत घर्षण भाराचा आधिक्याहून अधिक आहे असें दिसतें.

लोटण्याचें घर्षण ठरवावयाचा परीक्षांसारिख्या एथेही प्रत्येक परीक्षा दोहीं परड्यांत योजिल्या पाहिजे आणि त्यांचा फलांचें मध्यम मान घेतलें पाहिजे.

आतां घर्षण एकसारिखें क्षयकारक बल आहे किंवा नाहीं हें ठरवावयास असें करावें ह्मणजे जें वजन घर्षणाला प्रतिहत मात्र करायाला पाहिजे त्याहून कांहीं मोठें वजन एका परड्यांत ठेविलें पाहिजे. तें वजन वर्द्धमान गतीनें परडें खालीं आवयास कारण होईल. आणि त्याचें जवळ एक चिन्हित मापक उभें ठेविलें असतां त्याचा वर्द्धमानतेचें मान ज्ञात करितां येईल. जा प्रदेशांतून तें परडें एक दोन अथवा तीन इत्यादि सेकंदांत खालीं येतें ते जर (१, ४, ९,) इत्यादि संख्यांचा प्रमाणे आहेत असें जर झालें ह्मणजे प्रदेश कालांचा वर्गांचा प्रमाणांत झाले तर गति एकसारिख्यापणानें वृद्धिंगत झाली आहे. यावरून (९) आणि (१०) या कलमांत जीं मूलकारणें उघड केलीं आहेत त्याच मूलकारणावरून घर्षण एकसारिखें क्षयकारक बल आहे असा सिद्धांत करितां येईल.

मागल्या भागांत जा परीक्षा दाखविल्या त्यांचेठायीं जी दोरी घेतली तिप्रमाणें जी दोरी प्रकृत परीक्षांमध्ये घेतली आहे तिचा अनम्रतेपासून फलांम-

ध्ये कांहीं प्रत्यक्ष कार्य उत्पन्न होणार नाहीं अशी नम्रदोरी घेतली पाहिजे.

(२०) वर दाखविल्याप्रमाणे योजिलेल्या परीक्षांचा परंपरेने कोलोंब साहेबाला असें सांपडलें कीं घर्षणाचा इतर रूपांतराप्रमाणे या प्रकारांतही चेपणाशीं घर्षणाचा प्रमाणतेचा नियम सिद्ध होतो तथापि पूर्वी जो भेद सांगीतला ह्मणजे फार मोठ्या चेपणाचे ठायीं घर्षण प्रमाणाने कांहीं थोडकें असतें तो भेद सिद्ध आहे.

सरण्याचा घर्षणाचे ठायीं असें असतें तसें एथेही पृष्ठांला वंगण चोपडलें असतां फार लाभ प्राप्त होतो असेंही त्याला कळलें. सामान्यतः ताजी चरबी घर्षणाला अर्धाने कमी करिती आणि जशी जशी ती चरबी झीजून कमी होती तसें तसें घर्षण वाढतें तथापि सरण्याचा घर्षणाचा ठायीं जसें होतें त्याहून तें कार्य एथे अधिक मंद होतें.

या जातीचें घर्षणही एकसारिखें क्षयकारक बल आहे या स्तव तें वेगाचा स्वाधीन नाहीं.

इतर जातीचा घर्षणाप्रमाणे या घर्षणाचें मानही पृष्ठाचा जातीचा स्वाधीन असतें. लोखंड पितळेशीं सल्लग्न असून जर फिरत असतां तर घर्षण चेपणाचा सप्तमांश असतें. जेव्हां दोन्हीं पृष्ठें लांकूडाचीं असतात तेव्हां घर्षण चेपणाचा द्वादशांश असतें.

सामान्यतः सरण्याचा घर्षणाविषयीं जीं वाक्यें सांगीतलीं तीं या प्रकृत भागांत जा जातीचा घर्षणाचा विचार केला त्यालाही लागतील.

(२१) पदार्थ आपल्या कीलांवर फिरत असतां त्याचें घर्षण जा जातीचा घर्षणाचा विचार चालला आहे त्या जातींतलें आहे असें दिसतें. तेंही कोलोंब साहेबाने विचारिलें आणि त्या विषयाचें पत्र कोलोंब साहेबाने छापून प्रसिद्ध केलें. डाकतर ग्रेगरी साहेबाने आपल्या शिल्पविद्येचा ग्रंथाचा दुसऱ्या पुस्तकांत या विषयाचा विचार फार संक्षिप्त लेखाने स्पष्ट केला आहे. त्यापासून वक्ष्यमाण

क्ष्यमाण विषय घेतले आहेत ह्मणजे

जे पदार्थ कीलांवर फिरावयाचे आहेत ते सामान्यतः फार कठिन पदार्थांचा उखळामध्ये आधारिले असतात. त्या उखळीचा आशय शंकाकार आहे आणि त्या आशयाचा शेवटावर एक लहान वर्तुल खळगी आहे. तिचा वक्रतेचा अर्धव्यास फार लहान आहे. या खळगींत कीलाचा जो अग्रबिंदु आधारिला आहे त्या बिंदूचें बाह्यांग पृष्ठ गोल आहे. त्याचा वक्रतेचा अर्धव्यास त्या खळीगीचा शेवटाचा अर्धव्यासाहून लहान असला पाहिजे. अनुभवावरून असें सिद्ध होतें कीं खळीगीचा तळाची वक्रता विषम असती आणि अगेट ह्मणून एक पाषाण आहे याचा खळींत कील फिरत असतां त्याचें घर्षण बहूत करून त्या पाषाणाचा चांगल्या गुळगुळीत समान पृष्ठावर तोच कील फिरत असतां त्या पृष्ठाचा घर्षणाहून पांच अथवा साहापट अधिक असतें.

तशा विचारावरून कोलोंब साहेबाने आपल्या परीक्षांमध्ये खळीगीउपयोगांत न घेतां एक चांगलें गुळगुळीत पृष्ठ पदार्थीला कीलाचा अग्रावर आधारावयास घेतलें. पदार्थ सरून न जाया करितां आधारायाचा बिंदूचा संबंधाने पाहिलें असतां पदार्थाचा गुरुत्वमध्य फार खालीं व्हावा असें त्याणे केलें. नंतर त्याणे त्या पदार्थावर वर्तुल गति योजून पदार्थाला आपल्या कीलावर फिरविला आणि सेकंडें दाखविणाऱ्या घड्याळाचा योगाने पदार्थीला पहिले चार अथवा पांच फेरे खायाला जो काल लागला तो चांगला चिन्हित केला. आणि त्यापासून त्याणे एक मध्यम फेरा प्रथम वेग ठरवावयास सहज काढिला नंतर स्थिर व्हायाचा पूर्वीं पदार्थाने किती फेरे खाले त्यांची संख्या केली.

जा कांचेचा घांटेचा व्यास (४८) लैन* आणि उंची (६०) लैन होती आणि जिचा भार (५) औंस होता अशी घांट कोलोंब साहेबाने घेऊन तिला एका कीलाचा अग्रावर ठेविली आणि त्या घांटेला अग्राचा भोंवती वेगाचीं मानें अनुक्रमाने दिलीं. नंतर तिला पहिला फेरा खायाला जो काल लागला तो चां-

गला

* लैन ह्मणजे (०.०८८८१५) इंच.

गला चिन्हित केला. त्या कालाने पहिल्या फेराचा अर्धफेराशीं जो वेग मोजिला आहे तो मध्यम वेग आहे. नंतर घांट स्थिर व्हायाचा पूर्वीं किति फेरे खाले त्यांची संख्या केली. त्याचीं फलें अशीं होतीं ह्मणजे

(१) परीक्षा. त्या घांटेने एक फेरा (४) सेकंडांत खाला आणि (३४ १/१०) फेऱ्यांनंतर ती स्थिर झाली.

(२) परीक्षा. तिणे एक फेरा (६ १/४) सेकंडांत खाला आणि (१४ १/१०) फेऱ्यांनंतर ती स्थिर राहिली.

(३) परीक्षा. तिणे एक फेरा (११) सेकंडांत खाला आणि (४ ६/१०) फेऱ्यांनंतर स्थिर राहिली.

नंतर आपल्या परीक्षांमध्ये कोलोंब साहेबाने चेपण बदलिलें आणि निर्निराळ्या चेपणामध्ये कीलांचा घर्षणाचें संबंधी बल शोधिलें परंतु याचा विस्तार पुढें न केला असतांही त्या सर्वांपासून वक्ष्यमाण मुख्य फलें सांगतां येतील ह्मणजे

पहिलें कीलाचें घर्षण वेगाचा स्वाधीन नाहीं तर तें केवल चेपणाचा मानाचा प्रमाणांत आहे.

दुसरें ग्रानेट ह्मणजे एका जातीचा संगमरवर आहे त्याचें घर्षण कांचांचा घर्षणाहून कमी आहे.

तिसरें कोनाचा लहानपण्याविषयीं कीलाचा अग्राची आकृति घर्षणाचा मानाला लागती. ती अशी लागती ह्मणजे जो पदार्थ (८) अथवा (६) ड्रामापेक्षां भाराने अधिक आहे तो सुईचा अग्रावर फिरविला असतां त्या अग्राविषयीं जो सर्वांहून चांगला कोन आहे तो (३०°) अंशांपासून (४०°) अंशांपर्यंत आहे असें दिसलें. त्याहून कमी चेपणामध्ये घर्षण प्रत्यक्ष वाढविल्यावांचून तो कोन अनुक्रमें कमी करितां येईल. जेव्हां चेपण (१००) ग्रेनाहून अधिक नसतें तेव्हां फार अडचण नपडतांही चांगल्या पोलादाचे ठायीं (१०°) अथवा (१२°) अंशांपर्यंत तो कोन कमी करितां येईल. स्वळीगीवर हलके पदार्थ आ-

धारा

धारायाचे असतां पूर्वोक्त एक मोठा विचार आहे.

हे पूर्वोक्त नियम घड्याळें करणारांला कदाचित उपयुक्त पडतील.

भाग ९

दोरीच्या अनम्रतेविषयीं.

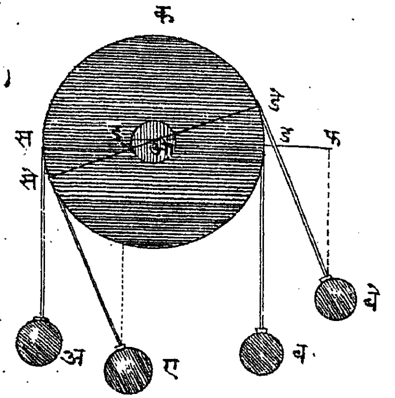
(२२) दुसऱ्या निबंधांत दोरीच्या कार्याविषयीं विचार करीत असतां त्यांला पूर्ण नम्रता आहे असें कल्पिलें आहे. ज्या प्रकारांत लहान्या मानाने ह्मणजे हलक्या भारांनी आणि हलक्या ताणांनी परीक्षा योजिल्या आहेत त्या प्रकारांत बारीक रेशमी दोरा अथवा बारीक सूताचा दोरा याचा अनम्रतेचा विचार केल्यावांचूनही ते उपयोगांत घेतां येतील. कारण असल्या प्रकारामध्ये नम्रता अशी असती कीं दोऱ्यांचा अनम्रतेमुळें कांहीं प्रत्यक्ष कार्य उत्पन्न होत नाहीं. परंतु जे प्रकार वास्तविक अनुभवामध्ये येतात आणि ज्यांत मोठे प्रतिरोध दूर करावयाचे असतात ह्मणजे मोठे भार उचलावयाचे असतात त्यांत फारकरून ज्या दोऱ्यांची जाडी आणि बल फार अनम्रता अवश्य उत्पन्न करितें तशा दोऱ्या उपयोगांत घेत असतात आणि जीं यंत्रें उपयोगांत घेतलीं आहेत त्यांची वास्तविक आणि अनुभवीक शक्ति जर कळायाची असली तर ज्या दोऱ्यांनी व्यापार चालविले आहेत त्या दोऱ्यांचा अनम्रतत्वें कार्य शोधायास अगत्य पाहिजे.

यद्यपि घर्षणाविषयीं जे कांहीं शास्त्रार्थ एथपर्यंत उघड केले त्यांहून दोरीचा अनम्रतेचे शास्त्रार्थ फार अधिक सुखकारक आहेत आणि परीक्षेशीं अधिक अनुरूप आहेत तथापि सहज आणि बालबोध रीतीने त्याचें वर्णन करायास अवघड आहे. दोरीची अनम्रता कांहीं मूलकारणांचा स्वाधीन आहे. त्या मूलकारणांनी ती अनम्रता ज्याला बीजगणीताची रीति माहीत आहे त्याला जी रीति फार सहज वर्णितां येईल त्या रीतीप्रमाणे ठरविली आहे परंतु सामान्य भाषेमध्ये सांगायास फारच अवघड आहे.

आतां

आतां दोरीची अनम्रता ज्या रीतीने यंत्राचा कार्याला प्रतिरोध करिती ती रीति वर्णितो. आकृति (५).एथे जी (असडब) ही दोरी(ओ) या बैठ्या कपीवरून गेली आहे तिशीं (अ) आणि (ब) हे समान भार संयुक्त केले आहेत असें कल्पावें. आतां(अ) याला एक लहान भार मिळविला असतां चक्र (डकस) या दिशेंत फिरविलें आईल. दोरीचा जो भाग (डकस) या अर्धवर्तुलाला योजिला आहे तो आपल्या अनम्रतेमुळें ती अर्धवर्तुल आकृति धरायास अनुकूल होईल आणि जोयत्न त्या आकृतीला प्रतिहत करायास लागतो त्याला निरोध करितो. आतां चक्राचा थोडक्या गतीमध्ये तो तशीच आकृति खचीत धरितो असें कल्पावें. नंतर दोरीचा (डसक) हा भाग अद्यापि चक्राला योजिलेला राहील परंतु (स) आणि (ड) हे बिंदु (से) आणि (डे) या स्थितींत प्रेरिले जातील. ज्या कारणाने दोरीचा (डसक) हा भाग आपली अर्धवर्तुल आकृति धरायास यत्न करितो त्याच कारणास्तव (डब) आणि (सअ) हे भाग आपली सरल आकृति धरायास यत्न करितील आणि (डसक) या भागाचा संबंधी जा स्थिति आहेत त्यांलाही धरितील. आणि वर सांगीतलेल्या लहान्या गतीमध्ये ते भाग आपली आकृति आणि संबंधी स्थिति यांला वास्तविक धरितात असें कल्पावें. आणि यास्तव गतीचा अंतीं ती दोरी आणि भार (एसेडेबे) या स्थितींत आहेत असेंही कल्पावें. आणि जर दोरी पूर्ण अनम्र असली आणि जर चक्राशीं तिचें घर्षण खंचणींत तिला नसरायाजोगें पूर्तें असलें तर तसेंच कार्य खचीत घडेल. या स्थितींत (अ) याला मिळविलेला जो भार तो (ब) याशीं विरुद्ध (सओ) या समान अशा तरफपणानें क्रिया नकरितां (इओ) या कमी झालेल्या तरफपणानें (फओ) या वाढलेल्या तरफपणानें (ब) याचा जो प्रतिरोध आहे त्याशीं विरुद्ध क्रिया करील. एथे (एइ) आणि (बेफ) या रेषा (सड) याशीं आणि त्याचा वाढविलेल्या भागाशीं लंब केल्या आहेत. यावरून

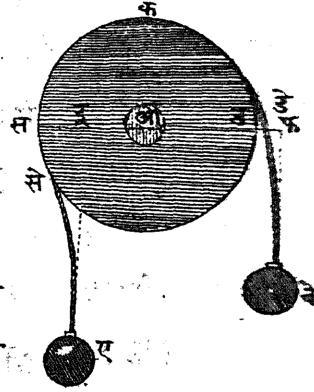
(आ. ५)



सऱ्यापक्षीं चालक शक्तीचा तरफपणाचा अधिक अधिक तोटा होत असतां यंत्र समतोलनाचा अवस्थेंत येऊन अधिक गति उत्पन्न होणार नाहीं.

आतां दोरी पूर्ण अनम्य नसून तिला कांहीं एका मानाची अनम्यता आहे असें कल्पावें. प्रथम जी स्थिति मागल्या आकृतींत दाखविली आहे ती यंत्राने घेतली आहे असें कल्पावें. आतां (ए) आणि (बे) हे भार (एसे स) आणि (बेडे) या अपूर्ण नम्र दोऱ्यांवर क्रिया करीत असतां जा वक्रता (६) आकृतींत दाखविल्या आहेत तसल्या वक्रताप्रमाणे दोऱ्यांला वांकवितील हें स्पष्ट आहे. पूर्ववत् (ए) आणि (बे) यापासून (एइ) आणि (बेफ) या ऊर्ध्वाधर रेषा कराव्या. (ए) याला भाराचें जें आधिक्य दिलें आहे तें (इओ) या कमी झालेल्या तरफपणाने क्रिया करितें. आणि त्याकालीं (बे) या न बदललेल्या भाराला (फओ) हा वाढलेला तरफपणा प्राप्त होतो. आतां (ए) याला मिळविलेला भार (इओ) याणे गुणिला असतां तो गुणाकार (बे) हा भार (फओ) याणे गुणिला असतां त्या गुणाकाराहून अधिक नसला तर कांहीं गति उत्पन्न होणार नाहीं. यास्तव दोरीचा अनम्यतेचा कार्यामुळें एका बैठ्या कपीवर विषम भार योजिले असतांही ती समतोलनांत राहील.

(आ. ६)



चक्र फिरत असतां (ए) आणि (बे) हे भार जीं कार्यें दोरीवर उत्पन्न करीत असतात त्यांचा विचार केला असतां तीं निर्निराळीं आहेत असें दिसेल. (बे) हा भार जी वक्रता चक्राचा खंचणीशीं समान आहे तशा वक्रतेने (डे) या बिंदूचेठायीं (बेडे) या दोरीला सतत वांकवितो आणि दुसऱ्यापक्षीं खंचणींत असतां दोरी-

ला

ला जी वक्रता होती तिचा अभाव करायास (ए) हा भार लागतो आणि तिला विरुद्ध दिशेंत वक्रता द्यायासही लागतो. या प्रकारांत दोरी आपली वक्रता ठेवायास जो यत्न (स) एथे करिती तो यत्न जा तरफपणाने (ए) हा भार क्रिया करितो त्याला कमी करायास प्रेरक आहे. परंतु (से) याचा खालीं दोरीला विरुद्ध दिशेंत वक्रता प्राप्त करायास (ए) याचें जें कार्य आहे तें त्या कार्याला प्रतिहत करून (ए) याचा तरफपण्याला वाढवायास प्रेरक आहे. त्या दोहों कार्यांमधलें जें अंतर आहे तें (ए) याचा तरफपणाचा कमीपणाला जें कारण उत्पन्न करितें तें आहे. आणि दुसऱ्या पक्षीं त्या वक्रतेला जो प्रतिरोध (बेडे) ही दोरी करिती तो (बे) याचा कार्याशीं विरुद्ध आहे आणि हा प्रतिरोध दुसऱ्या कांहीं कारणाने कमी न झाला असतां तो (बे) याचा तरफपणाला अधिक करायास केवल उद्युक्त आहे. यास्तव असें फलित होतें कीं (बे) याचा तरफपणाचें (डफ) हें आधिक्य (ए) याचा तरफपणाचा (सइ) या कमीपणाहून फार मोठें आहे. असलें जें कार्य वास्तवीक परीक्षेवरून प्राप्त होत असतें तें अनम्रतेचा शास्त्रार्थ सुलभ करायासाठीं कांहीं उपयोगीचे आहे. कारण सामान्यतः असें सिद्ध होतें ह्मणजे दोरीवर (ए) या भाराचें कार्य इतकें फार मोठें आहे यास्तव (स) या बाजूवरचा दोरीचा अनम्रतेमुळें त्या भाराचा तरफपणाचा (सइ) हा कमीपणा इतका लहान आहे कीं तो कमीपणा अगदी वर्जितां येईल आणि चूक प्रत्यक्ष झाल्यावांचून (ए) हा भार (ओस) या तरफपणाने क्रिया करील ह्मणजे चक्राचा अर्धव्यासाने क्रिया करील असें मानिलें जाईल.

आतां याची विरुद्धता सांगतो. पूर्वोक्त कारणास्तव (डेबे) या दोरीचा अनम्रतेमुळें (बे) याचा तरफपणाचें (डफ) हें आधिक्य फार मोठें आहे आणि तें अनम्रतेचा कार्याचा शोधाविषयीं एक उपयुक्त मूलकारण घडतें.

चक्राला केवल गतिमंत करायास (ए) याला जो अधिक भार योजायास लागतो तो (क्ष) याणे दाखविला आहे आणि तरफपणा मूलकारणावरून असें सिद्ध होतें ह्मणजे

(क्ष+ए) र=बे (र+बी)

एथे चक्राचा अर्धव्यास (र) आहे आणि (बी) हें (डफ) याशीं समान आहे. यावरून असें सिद्ध होतें ह्मणजे

(क्षर+एर=बेर+बेबी).

आणि (ए) हा (बे) याशीं समान आहे यास्तव (एर) हें (बेर) याशीं समान आहे. हीं दोन्हीं समान मानें समिकरणाचा दोहों बाजूंपासून काढिलीं असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे

(क्षर=बेबी) यास्तव (क्ष=बे $\frac{बी}{र}$) असें सिद्ध होतें.

आतां जर (बीं) हें ज्ञान असलें तर कोणी एका सांगीतलेल्या भाराशीं ह्मणजे चेपणाशीं अनम्यतेचें जें कार्य अनुरूप आहे तें ज्ञात होईल. आणि असें ही दिसतें कीं कोणी एका यंत्राचेठायीं दोरीचा अनम्यतेचें मान दाखवायासाठीं जा तरफपणाने प्रतिरोध क्रिया करितो तो वास्तविक तरफपणा कांहीं एका मानानें अधिक आहे असें मात्र कल्पिलें पाहिजे.

अनम्यतेचा शास्त्रार्थ पूर्ण करायासाठीं (बी) हें मान ठरावयाला पाहिजे. आणि तें कोणत्या प्रमाणे करीत असवातं हें उघड करायास जीं बीजगणीताचीं मूळकारणें आणि स्थापना फार करून या ग्रंथाचा वाचणाऱ्यास माहीत असतील त्याहून कदाचित् अधिकही उपयोगांत घ्यायास लागतील (बी) हें मान (६) आकृतींतल्या (बेडे) या दोरीचा वक्रतेचा अगदी स्वाधीन आहे हें स्पष्ट आहे. ही वक्रता जा अनेक मूलकारणांचा स्वाधीन आहे तीं दिसाधास सहज आहेत पहिलें मूलकारण दोरीच्या ताण ह्मणजे जा भाराला ती योजिली आहे तो (बे) हा भार याचे स्वाधीन आहे. या भाराला (भे) ह्मणावा. दुसरें. दोरीची सामग्री आणि जा प्रकारें ती निर्माण केली आहे तो प्रकार या दोहोंचे स्वाधीन आहे. हीं जा मानानें दोरीचा अनम्यतेला लागतात त्या मानाला (ऐ) ह्मणावें. तिसरें. दोरीचा व्यासाचे स्वाधीन आहे. याला (डी) ह्मणावें. चवथें. चक्राचा (र) या अर्धव्यासाचा स्वाधीन आहे.

$$(\text{क्ष} = \frac{\text{इ}^{\text{न}}}{\text{र}} \cdot (\text{ऐ} + \text{म} \text{भी}))$$

हें पूर्वोक्त अनुभविक प्रमाण (क्ष) याला दाखवायास घेतलें आहे. अनुभविक प्रमाणयाचा अर्थ असा आहे ह्मणजे जें कोणी एक उपपत्तीवांचून उत्पन्न केलें आहे आणि ज्याची सत्यता ह्मणजे संभावित सत्यता परीक्षेशीं अनुरूप आहे असें दाखविल्यानें ती ठरविली आहे.

या प्रमाणामध्ये (म) आणि (न) हीं अक्षरें अनियमित अंकाला दाखवितात. यांचीं प्रमाणें आणि (ऐ) याचें प्रमाण परीक्षेवरून मात्र शोधितां येईल. हीं शोधावयासाठीं ज्या कप्यांचे अर्धव्यास (र रे रै रो) हे आहेत अशा चार कप्या घ्याव्या. ज्या दोरीची अनम्रता शोधायाची आहे ती या कप्यांवर अनुक्रमें योजून (भी भे भै भो) या भारांनी ती दोरी ताणावी. आणि प्रत्येका प्रकारामध्ये जे भार कप्यांला गति मात्र देतात ते (क्ष क्षे क्षै क्षो) हे घ्यावे. या भारांला जें प्रमाण वर सांगीतलें त्यामध्ये स्थानांतर घावें. तेणेकरून असें प्राप्त होतें ह्मणजे

$$(\text{क्ष} = \frac{\text{इ}^{\text{न}}}{\text{र}} \cdot (\text{ए} + \text{म} \text{ भी}))$$

$$(\text{क्षे} = \frac{\text{इ}^{\text{न}}}{\text{रे}} \cdot (\text{ऐ} + \text{म} \text{ भे}))$$

$$(\text{क्षै} = \frac{\text{इ}^{\text{न}}}{\text{रै}} \cdot (\text{ऐ} + \text{म} \text{ भै}))$$

$$(\text{क्षो} = \frac{\text{इ}^{\text{न}}}{\text{रो}} \cdot (\text{ऐ} + \text{म} \text{ भो}))$$

या पूर्वोक्त चार समीकरणांतल्या कोणत्याही तीन समीकरणांपासून (ऐ) (म) आणि (न) यांचीं प्रमाणें काढितां येतील आणि तीं ज्ञात झालीं असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे

$$(\text{क्ष} = \text{भी} \cdot \frac{\text{बी}}{\text{र}} \text{ यास्तव } \text{बी} = \frac{\text{क्ष}}{\text{भी}} \cdot \text{र})$$

यापासून असें फलित होतें.

$$(\text{बी} = \frac{\text{इ}^{\text{न}}}{\text{भी}} \cdot (\text{ए} + \text{म} \text{ भी}))$$

या प्रकारें दोरीचा व्यास आणि तिचा ताण हे ज्ञात असतां प्रतिरोधाला तरफपणाचें जें आधिक्य सांगायाचें आहे तें प्राप्त होतें.

जें अनुभवीक प्रमाण वर सांगीतलें त्याचा खरेपणा ठरवावयासाठीं अथवा जोंपर्यंत त्याचें प्रमाण ताडितां येईल तोंपर्यंत ताडायासाठीं (अ) या चार समीकरणांनी (ऐ)(म)(न) हीं तीन मानें मात्र काढिलीं पाहिजेत. आणि जर फलें एकसारिखीं झालीं ह्मणजे या समीकरणाचे अंक एकसारिखेच आहेत असें झालें तर तीं समीकरणें सत्य आहेत असें जाणावें. आणि अनेक परीक्षा केल्याने आणि (क्ष मी र) यांचीं निर्निराळीं मानें उपयोगांत घेतल्याने या जातीचें प्रमाण अधिक निश्चित होतें. आणि अशा चार समीकरणाच्या प्रत्यक्ष समाहारापासून (ऐ म न) यांचीं जर मानें काढिलीं तर प्रमाणाची सत्यता सर्व सिद्ध होईल परंतु तें उपपत्तीने मात्र झालेलें नाहीं.

भाग ६

घर्षण आणि इतर प्रतिरोध समतोलनाचा प्रमाणां वर जें रूपांतर उत्पन्न करितात त्याविषयीं

(२३) जें यंत्र घर्षणापासून आणि इतर सर्व प्रतिरोधक बलांपासून निराळें आहे असें कल्पिलें होतें त्या यंत्रांत कोणीएक नियमित शक्ति आहे. ती शक्ति कोणीएका आणिलेल्या भाराशीं समतोलनांत राहील. ही शक्ति ठरवावयाच्या रीति दुसऱ्या निबंधांत वर्णिल्या आहेत. या शक्तीहून कोणीएक मोठी शक्ति भाराला वर चढायाला कारण होईल आणि तिहून लहान शक्ति त्याला खालीं उतरावयास कारण होईल. या प्रकारांत समतोलनाचा अभाव होतो. यंत्र घर्षण अनम्यता अथवा कोणत्या इतर प्रतिरोधक बलांच्या कार्याच्या स्वाधीन असतां तसें घडणार नाहीं तर असें घडेल कीं जी कोणीएक शक्ति दोहों नियमित अवधीमध्ये आहे ती समतोलन करील प्रतिरोधक बलाच्या स्वभावामध्ये जो असा विशेष आहे ह्मणजे कोणत्याही दिशेंत गति उत्पन्न झाली आहे अथवा गति उत्पन्न व्हावयास जी प्रेरणा उत्पन्न झाली आहे त्या प्रेरणेशीं

णेशीं जी नीट विरुद्ध दिशा आहे तिला तीं बलें घेतात. त्या विशेषावरून पूर्वोक्त प्रकार उत्पन्न होतो. दुसऱ्या निबंधांत जीं मूलकारणें स्थापिलीं आहेत त्यावरून समतोलनाला जें प्रमाण द्यायाचें आहे त्याहून शक्तीला अधिक केली असतां भाराला उचलायास जर तिला प्रेरणा प्राप्त झाली तर घर्षणादिक त्या प्रेरणेला निरोध करितील. आणि भार शक्तीला प्रतिहत करून तिला उचलायास प्रेरक होईल असा वाढविला असतां तीं प्रतिरोधक बलें एकदांच आपली दिशा बदलून भाराचा कार्याला निरोध करितील. दुसऱ्या निबंधांत जीं मूलकारणें स्थापिलीं आहेत त्याप्रमाणे घर्षणावांचून अथवा कोणीएका इतर प्रतिरोधक बलांवांचून कोणीएका यंत्राचेठायीं (भ) या भाराला समतोलनांत ठेवणारी शक्ति (श) ही आहे असें कल्पावें. आतां जर (श) वाढविली तर भाराला उचलायास प्रेरक होईल परंतु ही प्रेरणा त्या प्रतिरोधांनी निरोधिली आईल. (श) या शक्तीवर प्रतिरोधाचें कार्य (र) आहे असें कल्पावें. आतां (भ) हा उचलिला जावा एतदर्थ (र) याहून मोठ्या मानाने (श) या शक्तीला वाढविली पाहिजे. पुनः जर (श) कमी केली तर (भ) उतरायास प्रेरक होईल परंतु ही प्रेरणा प्रतिरोधक बलांनी निरोधिली आहे. आणि हें सचित आहे कीं जोंपर्यंत (र) याहून मोठ्या मानाने (श) कमी होई तोंपर्यंत (भ) उतरणार नाहीं. भाराला उचलायासाठीं शक्ति (श+र) याहून मोठी पाहिजे आणि भाराचें उतरणे नहोऊं द्यायासाठीं शक्ति (श−र) याहून कमी नसली पाहजे असें दिसतें. यास्तव (श+र) आणि (श−र) या दोहों मर्यादांमध्ये जा प्रत्येका शक्तीचें मान आहे त्या शक्ति भाराला समतोलनांत धरितील असें सिद्ध होतें. (श+र) आणि (श−र) या शक्तिही भाराला समतोलनांत धरितील परंतु जी अवस्था गतीचा योग्यतेवर आली आहे त्या अवस्थेंत तें होईल ह्मणजे एकाचा फारच थोडका अधिकपणा किंवा दुसऱ्याचा कमीपणा भाराचें चढणे अथवा त्याचें उतरणे अगत्य उत्पन्न करील.

प्रतिरोधक बलांला शक्तीचा जो (र) हा अधिकपणा समतोलनांत ठेवितो तो त्या बलांशीं स्वतः समान पाहिजे असें नाहीं कारण (र) हा अधिकपणा सामान्यतः यंत्राचा

अथवा

अथवा त्याचा कांहीं अवयवाचा व्यवधानानें प्रतिरोधांवर क्रिया करितो. बहुतेकाकेवल यंत्राचेंगर्यांही (२) हें मान शोधायाचा रीतीचें वर्णन करायाचें असतां या प्रकृत निबंधाचा उद्देशात्री जो शिक्षामालेचा विचार योग्य आहे त्याहून अधिक विचार करावा लागेल तथापि कांहीं अधिक प्रकारचें वर्णन करितो.

(२४) जर एक तरफ तुलेप्रमाणे धारेवर स्थिर राहाली तर घर्षण प्रत्यक्ष होणार नाहीं आणि जर ती एका सिलिंडराकार आंसावर क्रिया करिती तर घर्षण प्रत्यक्ष होईल. आंसावरचा घर्षणाचें सगळें मान जें (फ) आहे तें पूर्वोक्त भागांत जी रीति वर्णिली आहे तिप्रमाणे शोधिलें आहे. आंसाचा अर्धव्यास (री) आहे. (भ) हा भार आहे. (भी) त्याचा तरफपणा आहे. आणिं शक्तीचा तरफपणा (शी) आहे. भाराला उचलायासाठीं घर्षण (री) या तरफपणानें क्रिया करीत असतां आणि (भ) हा भार (भी) या तरफपणानें क्रिया करीत असतां यांला शक्तीनें प्रतिहत केलीं पाहिजेत. शक्तीचें जें चालकत्व त्यांला समतोलनांत ठेवील तें असें होईल ह्मणजे

(भभी + फरी)

जी शक्ति शोधायाची आहे ती (शे) आहे असें कल्पिलें असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे

(शेशी = भभी + फरी) यास्तव

(शे = $\frac{\text{भभी+फरी}}{\text{शी}}$) असें सिद्ध होतें.

ही शक्ति भार आणि घर्षण यांला समतोलनांत मात्र राखील आणि तिहून कोणतीही मोठी शक्ति भाराला उचलील.

भार खालीं उतरतो असें कल्पिलें तर (फ) हें घर्षण (री) या तरफपणानें क्रिया करीत असतां त्याणे निरोधिला जाईल. या प्रकारे घर्षण शक्तीला साहाय्यता देईल. जी शक्ति पूर्वोक्त भाराचें उतरणे मात्र न होऊं देईल ती (शै) आहे असें कल्पिलें असतां असें प्राप्त होतें ह्मणजे

(शैशी = भभी − फरी) यास्तव

(शै = $\frac{\text{भभी−फरी}}{\text{शी}}$) असें सिद्ध होतें.

(शौ) याहून कोणतीही लहान शक्ति भाराला उतरूं देईल आणि (शों) आणि (शौ) या शक्ति आणि त्यांचा मधल्या इतर सर्व शक्ति भाराला समतोलनांत ठेवितील.

घर्षण नसतां (भ) यांशीं समतोलन करणारी (श) ही शक्ति $\left(\frac{\text{भ भी}}{\text{शी}}\right)$ याशीं समान आहे यास्तव असें प्राप्त होतें ह्मणजे

$$\text{शो} = \text{श} + \frac{\text{फ र}}{\text{शी}} = \text{श} + \text{र} \text{ यास्तव}$$

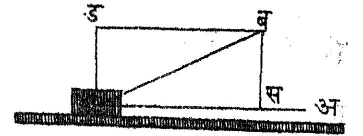
$$\text{र} = \frac{\text{फ र}}{\text{शी}} \text{ असें आहे.}$$

हें शक्तीचा अधिकपणा अथवा तिचा कमीपणा यांची समतोलनाशीं अनुरूप मर्यादा आहे.

हा विचार अक्षचक्रालाही लागतो हें स्पष्ट आहे. तथापि त्या प्रकारांत मागल्या भागांत जीं मूलकारणें स्थापिलीं आहेत त्यांप्रमाणे दोरीची अनम्यताही शोधिली पाहिजे. आणि कपीविषयींही तसेंच सांगितलें जाईल.

(२९) एका समान सपाटीवर (भ) या पदार्थाला ठेवावा. आणि चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण (फ) याणे दाखविलें आहे असें आणावें. सपाटीशीं समांतर जी (भ अ) ही दिशा आहे तींत जर एका बलाने पदार्थाला ओढिला तर जें बल त्याला गतिमंत करील तें घर्षणाशीं समान होईल यास्तव तें (फ भ) हें आहे. आतां जी दिशा समान रेषेशीं सर्वदां (ब भ अ) हा एकच कोन करिती त्या (ब भ) या दिशेंत जें बल सर्वदां क्रिया करितें त्या बलाने सपाटीवर तो पदार्थ ओढिला आहे असें कल्पावें. हें बल दुहेरी क्रिया उत्पन्न करितें. (भड बस) हें समांतररेषचौकोन होई अशा (ब स) आणि (ब ड) या रेषा कराव्या. जीं दोन बलें (भड) आणि (भ स) या बाजूंनी मानांत आणि दिशेंत दाखविलीं आहेत त्या दोहों बलांशीं (भ) हें बल तुल्य जातीचें आहे. (भड) हा भाग (भ) याला सपाटीपासून उचलायास यत्न करितो यास्तव चेपण आणि घर्षण यांला कमी करावयास यत्न करितो. आणि (भस) हा भाग सपाटीवर पदार्थाला चालावयास यत्न करितो.

(आ. ७)

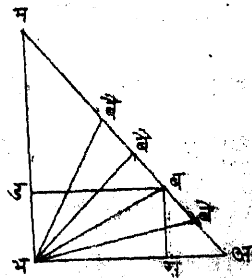


ओढण्याचा तिरकसपणामुळें लाभाचा नफा आणि तोटा होतो. लाभाचा नफा

फा असा होतो ह्मणजे जें घर्षण प्रतिहत करायाचें आहे तें ओढण्याचें जें (भड) हें अवयवबल आहे त्याचा कार्यानें कमी केलें आहे तें अवयवबल वरच्याकडे क्रिया करीत असतां सपाटीवरच्याचेपणाला कमी करितें. लाभाचा तोटा असा होतो ह्मणजे ओढण्याचें (भस) हें जें अवयवबल सपाटीवर पदार्थाला सारावयास कर्तृत्वांत आहे तें जें सगळें (भब) हें ओढणें सपाटीशीं समांतर क्रिया करीत असतां कर्तृत्वांत असेल त्याहून कमी आहे. तथापि असें ज्ञात झालें कीं ओढण्याचा (बभस) हा कोन कोणीएका मर्यादेचा बाहेर नगेला असतां त्यातिरकसपणानें कांहीं लाभ प्राप्त होतो ह्मणजे जें बल सपाटीशीं समांतर दिशेंत क्रिया करीत असतां गति उत्पन्न करून पदार्थाला चालवील त्याहून लहान बल त्याला गतिमंत करील.

यास्तव ओढण्याचा जो कोन सर्वांहून मोठा लाभ उत्पन्न करितो ह्मणजे जा कोनानें सर्वांहून लहान शक्ति सपाटीवर पदार्थाला चालवील तो कोन कोणता आहे हें ठरविणें एक मोठें कृत्य आहे. हें बीजगणीतानें फार सहज वर्णितां येईल तथापि भूमितीचा रेषाकरणानें वर्णायास यत्न करितो कारण तो व्यापार फार त्वरित होत नाहीं तथापि अधिक सुलभ बीजाचा आहे.

तें ओढणबल (भब) यानें पूर्वीं दाखविल्याप्रमाणें दाखवावें आणि तें पदार्थाला गतिमंत मात्र करायाला पूर्तें आहे असें कल्पावें. आतां (भस) हें अवयवबल घर्षणाशीं समान असलें पाहिजे. सपाटीवर पदार्थाचा सर्व भार चेपीत असतां घर्षणाचें जें मान उत्पन्न होईल त्याला (भअ) हें दाखवितें असें आणावें ह्मणजे तें (भफ) आहे हें (७) कलमांत पहावें. (भड) या वरच्याकडल्या अवयवबलानें चेपण कमी झाल्यानंतर घर्षणाचें जें शेष मान रहातें तें (भस) यानें दाखविलें आहे. यास्तव (डभ) अथवा (बस) या चेपणानें घर्षणाचें जें मान उत्पन्न होईल तें (सअ) यानें दाखविलें आहे असें फलित होतें आणि चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण (फ) हें सामान्यतः दाखवितें यास्तव असें प्राप्त होतें



ह्मणजे

ह्मणजे

सअ: सब :: फ : १:

(भअ) ही सपाटी जोंपर्यंत (भब) हा पदार्थ तिचा खालीं मात्र सरूं लागेल तोंपर्यंत उंचलली तर उतरणीचा भुजाशीं तिचा कोटीचें जें प्रमाण आहे तें चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण होईल असें पूर्वी (२४९. २५०) या पृष्ठांत सांगीतलेंच आहे. याचें स्मरण करावें. यास्तव या प्रकारांत जसें प्रमाण (सअ) ही रेषा (सब) या रेषेशीं ठेविती तसें प्रमाण उतरणीची कोटि तिचा भुजाशीं ठेवील. यास्तव उतरणीची कोटि आणि भुज यांणी झालेलें काटकोनत्रिकोण (अबस) या त्रिकोणाशीं समकोनत्रिकोण आहे. यास्तव उतरणीचें जें उच्च पदार्थाला गति मात्र देईल त्याशीं (अबस) हा कोन समान आहे. या कोनाचें तुरीय शेष* (बअस) हा कोन आहे. आतां ओढण्याचा तिरकसपणानें कमी न झालेलें पदार्थाचें सगळें घर्षण (भअ) याणें दाखविलें आहे आणि (बअभ) हा कोन चेपणाशीं घर्षणाचा प्रमाणाचा स्वाधीन आहे यास्तव हीं दोन्हीं मानें (भब) ही रेषा जी ओढणबलाला दाखविती त्या रेषेची दिशा अथवा लांबी याचा स्वाधीन नाहीं. यास्तव तें ओढणबल आपल्या दिशेमध्ये अथवा लांबीमध्ये कसेंही बदलिलें तथापि तीं मानें स्वतः बदलणार नाहीं.

या प्रमाणे एक चांगलें भुमीतीचें रेषाकरण प्राप्त झालें. त्याणें ओढण्याचा प्रत्येका कोनावर पदार्थाला चालायास मात्र जें बल पूरेल तें शोधितां येईल. सपाटीवरचा कोणी एका (भ) अशा बिंदूपासून (भम) ही लंबरेषा काढावी. आणि सपाटीवर आणि लंबावर जा भागांला चेपणाशीं घर्षणाचें जें प्रमाण तसें आहे तसे (भअ) आणि (भम) हे भाग घ्यावे ह्मणजे

भअ: भम :: फ : १

---

* याचा चतुर्थांशापासून ह्मणजे ९०° अंशांपासून कांहीं अंश काढिले अस-

आतां जर (भम) ही रेषा भाराला दाखवायास कल्पिली तर (भअ) हीजें घर्षण सगळ्या भाराच्या चेपणाचें आहे त्याला दाखवील. आणि उतरणीचा जा उच्चाचे ठायीं भार खालीं उतरतो त्याचें बल घर्षणाशीं समान होईल त्या (क्ष) या उच्चाशीं समान (भमअ) हा कोन होईल. हें पूर्वं (२९०) या पृष्ठांत पहावें. भाराचे जे रतल आहेत त्यांशीं जितक्या इंचा समान आहेत तितक्या इंचांच्या लांबीची (भम) ही रेषा घेतली आहे असें कल्पावें. आतां (भअ) यांत जितक्या इंचा आहेत त्या इंचा सगळ्या भाराचें जें घर्षण आहे त्या घर्षणाला जे रतल प्रतिहत करितील ते रतल होतील ह्मणजे जे रतल (भअ) या सपाटीशीं समांतर दिशेंत क्रिया करीत असतां भाराला गतिमंत मात्र करितील ते होतील. आतां जी शक्ति (भअ) याशीं कोणत्याही कोनावर क्रिया करीत असतां भाराला मात्र चालवील ती आणायाची असतां असें करावें ह्मणजे विवक्षित शक्तीच्या दिशेंत (भबे) ही रेषा करावी आणि तिचा शेवट (अम) यावर करावा. आतां (भबे) यांत जितक्या इंचा आहेत त्या जितके रतल (भबे) या दिशेंत क्रिया करीत असतां भाराला चालवितील ते होतील. पुनः भाराला चालावयास कोणी एका आणिलेल्या शक्तीची क्रिया जा दिशेंत करायाची आहे ती दिशा सांगायाची असली तर असें करावें ह्मणजे आणिलेल्या शक्तीचे जितके रतल आहेत त्या रतलांशीं जा रेषेचा इंचा समान आहेत तशी रेषा (भ) यापासून (अम) या रेषेपर्यंत करावी आणि जर ती रेषा (भबे) ही असली तर (भबे) ही विवक्षित दिशा होईल.

ओढण्याचा सर्वांहून उत्तम कोन ठरवावयाचा असला तर (भ) या बिंदूपासून (अम) या रेषेपर्यंत जी सर्वांहून लहान रेषा करितां येईल ती दाखविणे इतकें मात्र केलें पाहिजे. आणि ही लघुरेषा त्या रेषेवर लंब रेषा आहे हें स्पष्ट आहे. (भबेअ) हा काटकोन आहे यास्तव (बेभअ) हा कोन ओढण्याचा सर्वांहून उत्तम कोन आहे. (भबेअ) आणि (बसअ) हीं काटकोनत्रिकोणें समकोनत्रिकोणें आहेत यास्तव (बेभअ) हा कोन (सबअ) या कोनाशीं समान

न

न आहे.* परंतु हा शेवटला कोन पदार्थ सपाटीचा खालच्याकडे चालायासाठीं जा कोनापर्यंत सपाटीला उचलली पाहिजे त्या कोनाशीं समान आहे.

(२६) जा समान सपाटीला घर्षण आहे त्या सपाटीवर पदार्थाला ओढायाचा असला तर कांहीं ओढण बलावांचून पदार्थाला सपाटीचा खालीं सारवयासाठीं जा कोनाने ती सपाटी स्वतः समान रेषेशीं तिरकस ठेविली पाहिजे त्या कोनावर ओढण्याची जी सर्वांहून चांगली दिशा आहे ती त्या समान सपाटीशीं तिरकस कल्पिली पाहिजे.

जें रेषाकरण वर योजिलें आहे त्यांत (भम) या दिशेशीं ओढण्याचा जो कोन अनुरूप आहे तो (९०) अंश आहे. या प्रकारांत सपाटीवरचें चेपण कमी करायाला सर्व ओढणबल खर्चिलें आहे ह्मणजे जसा जसा ओढण्याचा कोन वाढत जातो तसें तसें सपाटीचे दिशेंत जें पूर्वी अवयवबल होतें तें उत्तरोत्तर कमी होऊन शेवटीं अदृश्य होतें यास्तव (भम) या रेषेने पदार्थाचा भार दाखविला पाहिजे. आणि असेंच एथे दाखविती. या प्रकारांत चेपण अगदी नाहींसें होतें.

(२७) ओढण्याचा सर्वांहून चांगल्या कोनाचा या पूर्वोक्त शोधामध्ये जा सपाटीवर पदार्थ ओढिला आहे ती समान आहे असें कल्पिलें आहे. आतां जर ती अशी नसली ह्मणजे तिरकस असली तर शोधाचा व्यापारांत कांहीं भेद होईल परंतु शेवटलें फल तसेंच होईल ह्मणजे सर्व प्रकारांमध्ये जा सपाटीचा उच्चाचे ठायीं पदार्थ ओढण बलावांचून मात्र खालीं उतरेल त्या उच्चाशीं ओढण्याचा सर्वांहून उत्तम कोन समान असतो.

(९) आकृतिः एथे जा उतरणीवर पदार्थ ठेविला आहे ती (फऐ) आहे. आणि तिचा जो (फऐ) हा कर्ण इंचांनी दाखविला आहे तो रतलांनी दाखविलेल्या पदार्थाचा भाराला दाखविती. यास्तव तिचा (फक) हा भुज उतरणीवरचा चेपणाला दाखवील आणि तिची (कऐ) ही कोटि उतरणीचे खालीं प-

---

* हें जार्वीस साहेबाचा भूमिति सिद्धांतांत पहावें.

दार्थाला उतरायाचें जें बल आहे त्याला दाखवील. हें दुसऱ्या निबंधांत पहावें. आतां (फक) हिशीं समान आणि (फऐ) हिवर लंब अशी (भम) ही रेषा करावी. आणि जें उच्च उतरणीचा खालीं यायाचा पदार्थाचा बलाला घर्षणाशीं समान करील अशा उच्चाशीं (भमअ) हा कोन समान होईल अशी (मअ) करावी. तेणेकरून वर सांगीतल्याप्रमाणे घर्षणाशीं चेपणाचें प्रमाण असें आहे तसें (भअ) हिशी (भम) हिचें होईल. आणि (भम) ही रेषा उतरणीवरच्या चेपणाला दाखविती यास्तव (भअ) ही त्या चेपणाशीं अनुरूप घर्षणाला दाखवील. ओढणबलाचें जें अवयवबल उतरणीवर लंब आहे तें अवयवबल (भड) आहे असें आणावें यास्तव हें चेपणाला कमी करितें. (भम) हें कमी न झालेलें चेपण आहे आणि जा मानाने ओढणबल त्याला कमी करितें तें मान (भड) आहे यास्तव कर्तृत्वाचें चेपण (मड) होईल. (ड) यांतून (भअ) या रेषेशीं समांतर (डल) हिला करावी. आतां (मडल) आणि (मभअ) हीं त्रिकोणें समकोन त्रिकोणें आहेत यास्तव असें सिद्ध होतें ह्मणजे

मभ : भअ :: मड : डल.

आणि (मभ) या चेपणाशीं अनुरूप घर्षण (भअ) आहे यास्तव (मड) या कर्तृत्वाचें चेपणाशीं जें घर्षण अनुरूप आहे तें (डल) आहे. हें घर्षण बलाचा जो भाग ओढण बलाचें जें अवयवबल उतरणीशीं समांतर आहे त्याणे प्रतिहत करायाचा आहे तो एक भाग आहे आणि उतरणीचा खालीं यावयाचे पदार्थाचें जें बल आहे तें दुसरा भाग आहे. हें (कऐ) याणे दाखविलें आहे. (अ) यापासून (कऐ) हिशीं समान (अओ) ही रेषा घ्यावी आणि (डल) ही रेषा (ब) यापर्यंत वाढविली असतां त्या रेषेशीं मिळेल अशी (ओब) ही रेषा (अम) हिशीं समांतर करावी. आतां (अलबओ) या समांतर रेषचौकोनामध्ये (अओ) ही बाजू तिचा समोरच्या (लब) या बाजूशीं समान आहे यास्तव उतरणीचे खालीं उतरायाचे पदार्थाचें बल (लब) याणे दाखविलें आहे. हें

(ड ल) या घर्षणाशीं मिळविलें असतां ओढणबलांचें जें अवयवबल उतरणीच्या दिशें-
त आहे त्याणे जें बल समतोलनांत आणावयाचें आहे तें (बड) हें सगळें बल प्राप्त हो-
तें. यास्तव (भब) ही रेषा काढिली आणि (डभ) हिशीं (बस) ही समांतर काढिली
तर (भब) ही रेषा ओढणबलाला दाखवील हें स्पष्ट आहे. कारण (भस) ही जी (ड
ब) हिशीं समान आहे ती आणि (भड) ही या दोन्हीं रेषा उतरणीच्या दिशेंतलें आ-
णि उतरणीच्या वरच्या लंब दिशेंतलें अशीं ओढण बलाचीं अवयवबलें आहेत. जा अ-
नेक रेषा एथे केल्या आहेत त्यांतल्या इंच्या त्या रेषांनी अनुक्रमे जीं बलें आणि चेप-
णें दाखविलीं आहेत त्यांच्या रतलांशीं समान आहेत.

(२८) संपाटी तिरकस असतां कल्याचें शोधन पूर्वोक्त प्रमाणे आहे. आ-
णि त्यावरून असें दिसतें कीं ओढण्याच्या कोणीएका कोनाशीं अनुरूप जें ओढण
बल आहे तें असें प्राप्त होईल ह्मणजे ओढण्याच्या दिशेंत (भ) या पासून एक रेषा
करून (ओब) या रेषेवर अथवा तिच्या वाढविलेल्या भागावर संपवावी. या रेषेची लां-
बी ओढणबलाचें मान दाखवील. आणि कोणीएका आणिलेल्या ओढण बलांशीं
ओढण्याचा कोणता कोन अनुरूप आहे तो जर विवक्षित असला तर (भ) यापासू-
न आणिलेल्या ओढणबलाशीं जी रेषा समान आहे ती (ओब) या रेषेवर मात्र के-
ली पाहिजे. या रेषेची दिशा तिशीं अनुरूप ओढण्याची दिशा होईल.

ओढण्याचा उत्तम कोन शोधावयाचा असला तर ओढणबल सर्वांहून लहान
केव्हां असतें हें ज्ञात करायास मात्र पाहिजे. (भ) यापासून (ओब) हिवर (भब)
ही लंब रेषा केली असतां तसें घडेल हें स्पष्ट आहे. (भ) यापासून (ओब) हिवर
जा रेषा करितां येतील त्यांतली सर्वांहून लहान रेषा ती लंबरेषा होईल. आणि (भ
सब) आणि (बसओ) हीं त्रिकोणें समकोन त्रिकोणें आहेत यास्तव (बभओ) हा
कोन (सबओ) या कोनांशीं समान आहे. आणि (बस) ही रेषा (मभ) हिशीं समां-
तर आहे आणि (बओ) ही (मअ) हिशीं समांतर आहे यास्तव (सबओ) हा कोन
(भमअ) या कोनीशीं समान आहे. यास्तव (बभओ) हा कोन (भमअ) याशीं समान

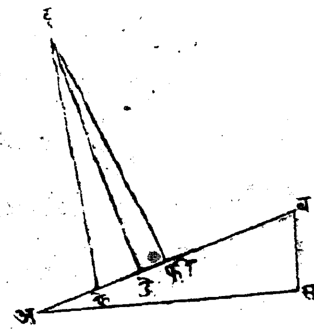
आहे

एका आणिलल्या पदार्थाला जी शक्ति

प्रमाणाच्या मर्यादा शोधितो. शक्ति उतरणीचा दिशेंत क्रिया करिती असें पूर्वी कल्पावें.

उतरणीचा जा उच्चाने पदार्थ तिचा खालीं मात्र जाईल आणि जाला सामान्यतः (क्ष) ह्मणायाचा आहे त्या उच्चाहून जर उतरणीचें उच्च एथे अधिक नसलें तर पदार्थाला समतोलनांत ठेवावयास जी शक्ति पाहिजे तिला लहान मर्यादा नाहीं हें स्पष्ट आहे कारण कांहीं शक्तीचा साहय्यतेवांचून पदार्थाला न उतरूं द्यायाजोगें घर्षणस्वतः पूर्तें असतें. जर भार उतरणीचा कर्णानें दाखविला आहे तर तिचा (ब) या भुजाने चेपण दाखविलें जाईल. सामान्यतः चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण (फ : १) आहे यास्तव (ब फ) हें घर्षण आहे. उतरणीचा खालीं जायाचें पदार्थाचें बल (ह) या उतरणीचा कोटीने दाखविलें आहे यास्तव गति उत्पन्न करायाला मात्र जी शक्ति आहे तिणें जें बल प्रतिहत करायाचें आहे तें (ह + ब फ) हें आहे. आणि तें समतोलन उत्पन्न करायाला जी शक्ति समर्थ असती तिची मोठी मर्यादा आहे. या मर्यादेहून कोणतीही मोठी शक्ति उतरणीवर भाराला ओढील.

हें भूमितीचा रेषाकरणाने सहज दाखवितां येईल. (१०) आकृति. या आकृतींत जी उतरण भाराला दाखविती ती (अब) आहे. आतां (अस) ही रेषा चेपणाला दाखविती. आणि उतरणीचा खालीं यायाचे भाराचें बल (बस) ही दाखविती. (बस) हिशीं समान (अड) ही रेषा घ्यावी. आणि (ड) यापासून उतरणीवर लंब आणि (अस) हिशीं समान अशी (डइ) ही रेषा करावी. आणि (इ) यापासून (क्ष) याशीं (डइफी) हा कोन समान होई अशी (इफी) ही रेषा करावी. यापासून असें सिद्ध होतें ह्मणजे



(आ. १०)

डफी

डफी : डइ : : फ : १

ह्मणजे चेपणाशीं घर्षण जसें आहे तशी (डइ) हिशीं (डफी) आहे. आणि (डइ) ही चेपणाला दाखविती यास्तव (डफी) घर्षणाला दाखवील आणि (डअ) ही उतरणीचा खालीं याचें पदार्थाचें बल दाखविती आणि (डफी) ही घर्षणाला दाखविती यास्तव या दोहोंचा एकवटलेल्या कार्याशीं जें बल समान असून त्यांला समतोलनांत ठेवितें त्याला (अफी) ही दाखविती. यास्तव (अफी) हिहून कोणी एक अधिक बल पदार्थाला उतरणीवर ओढेल. सारांश समतोलनाशीं अनुरूप असून जी सर्वाहून मोठी शक्ति पदार्थावर क्रिया करील तिला (अफी) ही दाखविती.

आतां उतरणीचें (बसअ) हें उच्च (क्ष) या कोनाहून मोठें आहे असें जर कल्पिलें तर पदार्थाला धरायास जी शक्ति पाहिजे तिला लहान मर्यादा होईल कारण या प्रकारांत घर्षण स्वतः पदार्थाचें उतरणें न होऊं द्यायासाठीं पूर्तें नसतें. पूर्वोक्त मूलकारणाप्रमाणें (ह) ही कोटि उत्तरणीचा खालीं उतरायाचे पदार्थाचें बल दाखविती. आणि जें घर्षण पदार्थाचा उतरण्याला प्रतिरोध करितें तें (बफ) हें आहे. यास्तव उतरण्याचें वास्तविक कर्तृत्व (ह−बफ)* हें आहे यास्तव ही प्रेरणा शक्तीची लहान मर्यादा आहे. आतां ज्या अर्थानें (शे) आणि (शै) हीं (२४) कलमांत वर्णिलीं आहेत त्या अर्थानें एथे जर घेतलीं तर असें प्राप्त होतें ह्मणजे

शे = ह + बफ

शै = ह − बफ

ह्मणजे (१०) आकृतींतल्या रेषाकरणाप्रमाणे चालविलें असतां ह्मणजे (डइफे) हा कोन (क्ष) याशीं समान करून (इफे) ही रेषा केली असतां (डफे) ही घर्षणाशीं समान होईल आणि असें प्राप्त होईल ह्मणजे

---

* एथे (ब) उतरणीचा भुज आणि (ह) ही तिची कोटि दाखविती.

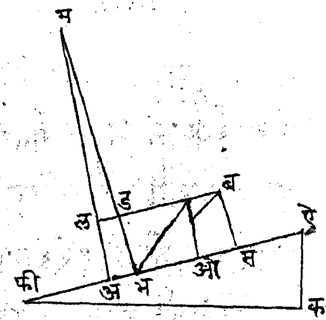
शे = अफी आणि शै = अफे

(३०) शक्तीची दिशा उतरणीशीं तिरकस आहे असें कल्पावें.

जी शक्ति उतरणीशीं कोणीएका सांगीतलेल्या कोनावर क्रिया करीत असतां भार आणि घर्षण यांला प्रतिहत करील ती जें रेषाकरण आणि शोधन हीं (२७) कलमांत योजिलीं आहेत त्यांणी ठरविली होती यास्तव (९) आकृतींत अर (फ ऐ) ही रेषा भाराला दाखविती आणि (भ ब) ही शक्तीचा दिशेला दाखविती तर (भब) या रेषेची लांबी शक्तीचें जें मान भार आणि घर्षण यांला प्रतिहत करितें त्याला दाखवील. तें असें कीं (भब) हिहून कोणतीही अधिक शक्ति त्या दिशेंत क्रिया करीत असतां उतरणीवर भाराला ओढिती यास्तव असें प्राप्त होतें ह्मणजे (शे = भब)

आतां रेषाकरणाचा थोडक्याशा भेदानें शक्तीची लहान मर्यादा अनायासानें दाखवितां येईल.

(२७) कलमांत जी कृति वर्णिली आहे तींत उतरणीचा (ऐ) या माथ्याकडे (भमअ) हा कोन (क्ष) याशीं समान नकरितां (११) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें उतरणीचा (फी) या पायाकडे करावा. आतां पूर्वोक्ता प्रमाणें या आकृतींत ओढण बलाचें उतरणीचा लंब दिशेंतलें अवयवबल (भड) हिणें दाखविलें असतां (डल) ही रेषा घर्षणाला दाखवील. (आ· ११)



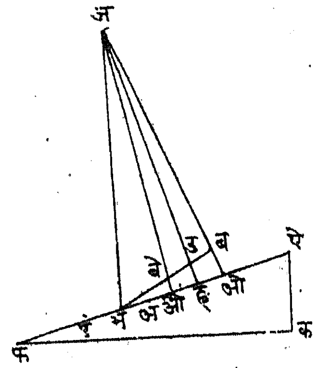
(ऐक) हिशीं समान अशी (अ औ) ही रेषा घ्यावी. आणि (डल) ही रेषा (ब) यापर्यंत वाढविली असतां तिला मिळेल अशी एक रेषा (ओ) यामधून (अम) हिशीं समांतर करावी. जा बलानें उतरणीचा खालीं यायास पदार्थ प्रेरिला आहे तें बल भाराचा जो (लब) हा भाग उतरणीचा दिशेंत भेदिला आहे तो आणि (लड) हें घर्षण या दोहोंचें अंतर आहे ह्मणजे (डब) आहे. यास्तव (डब) ही रेषा

उत-

उतरणीचा दिशेंतल्या शक्तीचा अवयवबलाशीं समान आहे. आणि उतरणीशीं लंब अवयवबल (भड) ही रेषा आहे. यास्तव शक्ति (भब) ही असली पाहिजे.

(३१) रेषाकरणामध्ये शोधनाची परंपरा करायासाठीं मात्र जा रेषा केल्या आहेत त्या वर्जिल्या असतां शक्तीचा दोन मर्यादा वक्ष्यमाण प्रकारें ठरवितां येतील. (१२) आकृति. एथे (भब) ही शक्तीची दिशा आहे असें कल्पावें. उतरणीवर पदार्थाचा चेपणाचें जें घर्षण आहे त्याशीं समान (भअ) आणि (भए) या प्रत्येक रेषा घ्याव्या. भारावर कांहीं शक्तीचें कार्य नाहीं असें कल्पिलें आहे. (ऐक) हिशीं समान (अओ) आणि (एऔ) या प्रत्येक रेषा घ्याव्या. आणि (ओ) आणि (औ) यांतून (क्ष) या कोनांचा तुर्यशेषाशीं जो समान कोन आहे त्याणे (ओऔ) या रेषेशीं प्रत्येक तिरकस होई अशा रेषा कराव्या. आणि त्या रेषांला (ब) आणि (बे) एथे छेदील अशी शक्तीची दिशा वाढवावी. आतां जी सर्वांहून लहान शक्ति भाराचा उतरण्याला बंद करील ती (भबे) ही होईल आणि भाराचें चढणे झाल्यावांचून जी सर्वांहून मोठी शक्ति योजितां येईल ती (भब) ही होईल. याचा मधल्या सर्व शक्ति समतोलन उत्पन्न करितील.

(आ. १२)



जें रेषाकरण वर वर्णिलें आहे तें समतोलन शक्तीचा दोहों मर्यादांचीं मानें सर्व प्रकारामध्ये दाखवितें असें मात्र नाहीं तर तें घर्षण नसतांही त्याशक्तीचें एकलें मान कोणतें होईल तेंही दाखविलें. (ज) यापासून (ओऔ) या रेषेवरचा (जह) या लंबरेषेला जा बिंदूवर (भबेब) ही रेषा छेदिती तो बिंदु (ड) आहे. आतां घर्षण नसतां जी शक्ति भाराला धरील तिचें मान (भड) ही रेषा आहे कारण याचें अवयवबल जें उतरणीचा दिशेंत आहे तें (भह) हें आहे. आणि (ओजओ) हें समद्विभुज त्रिकोण आहे यास्तव (ओऔ) हिचा मधला

बिंदु

शेवटली रेषा रेषाकरणाचे प्रमाणें (कऐ) हिशीं समान आहे ह्मणजे उतरणीचा खालीं यायाचा पदार्थीचा बलाशीं समान आहे यास्तव उतरणीचा दिशेंतलें (भह) हिचें अवयवबल उतरणीचा खालीं यायाचा बलाशीं समान आहे. यास्तव समतोलन कारक शक्ति (भज) आहे असें फलित होतें.

(३२) या रेषाकरणाचा विचार केला असतां असें दिसतें ह्मणजे जा रेषा (ओ) आणि (ओ) यांतून केल्या आहेत त्या रेषांचा (ज) या छेदनांतून जी (भज) ही रेषा केली आहे ती जर शक्तीची दिशा असली तर शक्तीचा दोन्हीं मर्यादा एकच होतील आणि (बे) (ब) हे बिंदु परस्पर मिळतील. आणि जी शक्ति भाराला समतोलनांत ठेवील ती तशी (भज) ही एकच शक्ति आहे. आणि या शक्तीहून प्रत्येक मोठी शक्ति पदार्थीला चढावयास आणि प्रत्येक लहन शक्ति त्याला उतरावयास कारण होईल. हें सहज दाखवितां येईल आणि हें संभावने प्रमाणें घडलें आहे. (हओ) ही रेषा (भअ) हिशीं समान आहे आणि भाराचें जितकें घर्षण असावें तें (भअ) आहे यास्तव (हओ) ही या घर्षणाशीं समान आहे. आणि (हओज) याचें तुर्यशेष (हजओ) हें आहे यास्तव तें (हज ओ) हें (क्ष) या कोनाशीं समान आहे यास्तव चेपणाशीं घर्षण जसें आहे तसें (हज) हिशीं (हओ) ही आहे. परंतु पदार्थीचें दाखवावयाचें घर्षण (हओ) ही रेषा आहे यास्तव (जह) हें चेपण आहे. आणि (भज) ही शक्ति आहे यास्तव उतरणीवरचा लंब दिशेंतलें शक्तीचें अवयवबल (हज) हें आहे यास्तव चेपण कमी करायाला शक्तीचा जो भाग प्रेरक आहे तो सगळ्या चेपणाशीं समान आहे. या प्रकारें चेपण नाहींसें झालें असतां कांहीं घर्षण नसतें. यास्तव शक्तीचा दोन्हीं मर्यादा समान होतात. त्याचें जें अंतर सर्वदां घर्षणाचा कार्याचे दुप्पट असतें तें नाहीं

सें

सें होतें.

(जह) ही रेषा (फक) हिशीं समान आहे आणि (भह) ही (ऐक) हिशीं समान आहे आणि (ह) आणि (क) एथले कोन काटकोन आहेत यास्तव असें फलित होतें ह्मणजे (भज) ही (फऐ) हिशीं समान आहे आणि (जभह) हा कोन (फऐक) या कोनाशीं समान आहे यास्तव (भज) ही रेषा (ऐक) हिशीं समांतर आहे. जथे शक्तीची दिशा ऊर्ध्वाधर आहे तेथे पूर्वोक्त प्रकार घडतो यास्तव शक्ति भाराशीं समान आहे आणि उतरणीवांचून भाराला उचलिती.

(३३) पदार्थ सरतो अथवा लोटतो अथवा चक्रावर कसाही चालतो तथापि हा सर्व पूर्वोक्त उहापोह योग्य होईल हें स्पष्ट आहे इतकें मात्र अंतर होईल ह्मणजे चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण ह्मणजे (फी) याचें मान ह्मणजे (भअ) या रेषेचें मान प्रत्येका प्रकारामध्ये निर्निराळें होईल.

भाग ७

घर्षण आणि दोरीची अनम्रता यांचा परीक्षांचा फलांचा कोष्टकांविषयीं.

(३४) घर्षण आणि दोरीची अनम्रता यांचा शास्त्रार्थ पूर्ण समाधान करणाऱ्या मूळकारणावरून अझून स्थापिला नाहीं आणि त्या विषयाचें सर्व ज्ञान परीक्षेवरूनच प्राप्त झालें आहे यास्तव कोलोंब साहेबाने जा परीक्षा योजिल्या आहेत त्यांचीं फलें जा कोष्टकांत आहेत ते कोष्टक अभ्यास करणारांला दाखविते आणि हीं फलें आणि त्या परीक्षांपासून जीं मूळकारणें कादिलीं आहेत यांचा मुकाबला केला असतां त्या मूळकारणाची सत्यता किति आहे हें स्पष्ट होईल.

हे वक्ष्यमाण कोष्टक डाकतर ग्रेगरी साहेबाचा शिल्पविद्येचा निबंधापासून घेतले आहेत.

कोष्टक १

लांकूडांचा शिरांचा दिशा एक असून चेपण एकासंख्येने दाखविलें असतां त्या

लांकू-

लांकूडांचें घर्षण.

ओक याशीं ओक यांचें घर्षण	०·४३
ओक याशीं फर ह्मणजे देवदार	०·६९
फर याशीं फर	०·९६
एल्म याशीं एल्म	०·४७

लांकूडांचा शिरांचा दिशा परस्परांशीं कोटकोनांत असतां त्यांचें घर्षण.

ओक याशीं फर	०·१९८
फर याशीं फर	०·१६७
एल्म यांशीं एल्म	०·१०७

कोष्टक २

लिगनमवैटी याचा (६) इंचा आणि दोन इंचा अशा व्यासांचा लाटयांचें घर्षण चेपण = १

लाटयाचा स्वभारासद्दवर्त मान वजनाचें मान	जे भार फार मंदगति उत्पन्न करितात. ते भार आणि लाटयांचे व्यास वक्ष्यमाण आहेत.	
	व्यास ६ इंचा	व्यास २ इंचा
१०० रतल	०·६	१·६
५००	३·०	९·४
१०००	६·०	१८·०

आतां दोरीचा अनम्रतेविषयीं आणि (२) इंचा यापासून (१२) इंचापर्यंत व्यासांचा निर्निराळ्या लाटयांविषयीं कोलोंब साहेबाचा परीक्षांचीं फलें दाखवितो. घर्षणाविषयीं जें वजा करायाचें आहे तें कोष्टकांत दाखविलें आहे. आणि अमांटन् साहेबाचा यंत्राने जा परीक्षा योजिल्या आहेत त्यापासून जी अनम्रता काढिली आहे ती एका मुकाबला दाखविणाऱ्या पंक्तिमध्ये दाखविली आहे. दोऱ्या तीन जातीचा होत्या ह्मणजे पहिल्या दोरीमध्यें (६) सुतें होतीं ह्मणजे दोन दोन् सुतांचे असे तीन पेढ त्या दोरींत होते तिचा घेर (१२ $\frac{३}{४}$) लैन आणि तिचा एक फुट लांबीचा भार (४ $\frac{१}{२}$) ड्राम होता. दुसऱ्या दोरीमध्यें (१५) सुतें होतीं ह्मणजें तिमध्ये पांच पांच सुतांचे असे तीन पेढ होते घेर (२०) लैन आणि तिचा एक फुट लांबीचा भार (१२ $\frac{१}{२}$) ड्राम होता. तिसऱ्या दोरीमध्ये (३०) सुतें होतीं ह्मणजे तिमध्ये दाहा दाहा सुतांचे असे (३) पेढ होते घेर (२८) लैन आणि तिचा एक फुट लांबीचा भार (२४ $\frac{१}{२}$) ड्राम.

कोष्टक ३ दोरीची अनम्यता

परीक्षांची संख्या	परीक्षांत योजिलेल्या दोऱ्या	लांकूडाचा जाति आणि लाट्यांचे व्यास आणि भार	लाट्याचा प्रत्येका बाजूवर योजिलेल्या भारांचें रतल	लाट्यांचें घर्षण आणि दोऱ्यांची अनम्यता यांला प्रतिहत करायासाठीं मिळविलेले अधिक भाराचे रतल	जीं पृष्ठें लाट्यांला आधार आहेत त्यांवरचा भाराचे सर्व रतल	लाट्याचें घर्षण	दोरीची अनम्यता: कोलोंब साहेबाचा यंत्राने दाखविलेलें प्रमाण	दोरीची अनम्यता: अर्मांटन् साहेबाचा यंत्राने दाखविलेलें प्रमाण
१	तिसऱ्याजातीची दोरी ह्मणजे तीस सूतांची	एल्म व्यास १२ इंचा भार ११२ रतल	१०० ३०० ५००	५ ११ २०	३१५ ७२१ ११२०	१·५ ३·६ ५·६	३·५ ७·४ १४·४	४·४ १०·४ १६·४
२	पूर्वोक्त	एल्म व्यास ६ इंचा भार २५ रतल	२००	१८	४४३			
३	पूर्वोक्त	लिगनमवैटी व्यास ६ इंचा भार ५० रतल	२००	१६	४६६	२·८	१३·२	१४·८
४	पूर्वोक्त	लिगनमवैटी व्यास २ इंचा भार ४२½ रतल	२५ २००	११ ५२	६५½ ४५६½			
५	दुसऱ्या जातीची दोरी ह्मणजे १५ सूतांची	लिगनमवैटी व्यास ६ इंचा भार ५० रतल	२५ १०० २०० ५००	११¼ ६ ११ २४	१०१¼ २५६ ४६१ १०७४	२·८ ६·४	८·२ १७·६	७·६ १७·८
६	पहिल्या जातीची दोरी ह्मणजे ६ सूतांची	पूर्वोक्त	१०० २००	३ ६	२५३ ४५६	२·६	३·२	३·१

अमांटन् साहेबाचा रीतीपासून आणि कोलोंब साहेबाचा रीतीपासून फारकरून जवळजवळ अशीं एकसारिखीं फलें उत्पन्न होतात असें या पूर्वोक्त कोष्टकावरून दिसतें आणि जेथे मोठें अंतर आहे तेथे याचें कारण कोलोंब साहेब असें मानितो कीं एका जातीचा परीक्षेंत योजिलेल्या दोऱ्यांपेक्षां दुसऱ्या जातीच्या परीक्षेंत दोऱ्या पूर्वीं अधिक व्यापारिलेल्या होत्या.

कोष्टक ९ वें याविषयी

परीक्षांचा क्रम	योजिलेल्या दोरीचीजाति	वंगणाची जाति	कपीवर दोरीला नमवायासाठीं उपयोगांत घेतलेले भार	कपीच्या प्रत्येका बाजूवर योजिलेले भार	कपीला प्रेरायास अधिक घेतलेले भार	कपीच्या प्रत्येका बाजूवर योजिलेल्या भाराची गति	आंसावरचें चेपण	आंसाच्या पृष्ठावरलें गणिलेलें घर्षण	चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण
१	३ लैन घेराचें फार नम्र सूत	वंगणा वांचून घर्षण	०·०	१०३	६	मंद आणि विषम	२२६	४२	०·१८६
२	पहिल्या जातीची ह्मणजे ६ सूतांची दोरी	पूर्वोक्त	१·५	२००	१०·९	मंद आणि विषम	४२४	६५	०·१५३
					१३·५	पहिल्या तीन फुटींतून ६ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून ३ सेकंडांत पडला			
३	पूर्वोक्त	पूर्वोक्त	३·०	४००	२१	मंद परंतु सतत	८२५	१३०	०·१६६
					२८	पहिल्या तीन फुटींतून ९·५ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून २·९ सेकंडांत पडला			
					३९	पहिल्या तीन फुटींतून ३ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून १½ सेकंडांत पडला.			

४	(१) लेन घेरा घेंफारनच सूत	चरबी	०·०	१००	२·५	मंद परंतु सतत	२१६·५	१७·५	०·८०८
					६	पहिल्या तीन फुटींतून ३·५ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून १·५ सेकंडांत पडला			
५	पहिल्या जातीची दोरी ह्मणजे ६ सूतांची	पूर्वोक्त	१·५	२००	६·५	मंद परंतु सतत	४२०	३६	०·०८६
					१०·०	पहिल्या तीन फुटींतून ३·५ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून १·५ सेकंडांत पडला			
६	पूर्वोक्त	पूर्वोक्त	३·०	४००	१३	मंद परंतु सतत	८२७	७२	०·०८७
					१८	पहिल्या तीन फुटींतून ६·५ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून २ सेकंडांत पडला			
					२४	पहिल्या तीन फुटींतून ३ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून २ सेकंडांत पडला			
७	(२) लेन घेराचें सूत	गाउयाचें वंगण	०·०	९०	२·५	मंद आणि सतत	११७	१७·५	०·१५
८	पूर्वोक्त	पूर्वोक्त	०·०	१००	३·७	पूर्वोक्त	२१८	२६	०·११९
९	पूर्वोक्त	पूर्वोक्त	०·०	१५०	५·७	पूर्वोक्त	३२०	४०	०·१२५
१०	पहिल्या जातीची दोरी ह्मणजे ६ सूतांची	पूर्वोक्त	०·७	१००	४·३	मंद आणि अनिश्चित	२१८	२६	०·११९
					९	पहिल्या तीन फुटींतून ३ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून १½ सेकंडांत पडला			

११	पूर्वोक्त	पूर्वोक्त	१·५	२००	८·५ १४ २०	अनिश्चित पहिल्या तीन फुटींतून ४ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतू २ सेकंडांत पडला सर्व ६ फुटी ३·५ सेकंडांत पडला	४२२	५०	०·११९
१२	पूर्वोक्त	पूर्वोक्त	३·०	४००	१७ २९ २८	अनिश्चित पहिल्या तीन फुटींतून ६·५ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून २·५ सेकंडांत पडला पहिल्या तीन फुटींतून ४ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून १·५ सेकंडांत पडला.	८३१	१०१	०·१२१
१३		या पूर्वोक्त परीक्षेचे गाड्यांचें वंगण पुसून काढून धातूचें पृष्ठ तेलकट राहिलें	....	....	....	....	२०० रतलांपासून १२०० रतलांपर्यंत	....	०·१२७
१४		पृष्ठ तेलाने नवें चोपडलें	....	....	....	....	....	....	०·१२७ ०·१३३
१५		यद्यपि यंत्र फार उपयोगांत घेतलें तथापि फार कालपर्यंत वंगण नवें चोपडलें नाहीं	....	....	....	....	....	....	०·१३३

तांब्याचा डब्यांमध्ये लोखंडाचा आंसाचा घर्षणाविषयीं जा परीक्षा योजिल्या त्याचीं फलें या पूर्वोक्त कोष्टकामध्ये आहेत. त्या आंसाचा व्यास (१९) लैन होता आणि त्या तांब्याचा डबीमध्ये त्याला फिरायासाठीं (१·७९) लैन इतकें अंतर होतें. कपीचा व्यास (१४४) लैन होता आणि तिचा भार (१४) रतल होता.

आंस गतिमंत असतां त्याचें घर्षण शोधायाचा या परीक्षांमध्ये मुख्य उद्देश होता यास्तव कोलोंब साहेबाने भारांला साहा फुटी प्रदेशांतून चालविले आणि जो काल हिल्या आणि शेवटल्या तीन फुटींतून जायास लागला तो काल अर्धसेकंडांनी निर्निराळा मोजिला.

दोरीला वक्र करायाला जे भार लागले आणि जे चवथ्या पंक्तींत आहेत ते पांचव्या पंक्तींत जे ताण दाखविले आहेत त्यापासून आणि कांहीं पूर्वीचा परीक्षांचा फलांपासून गणिले आहेत. हे भार जे भार साहाव्या पंक्तींत दाखविले आहेत आणि जाणी रचनेला गतिमंत केली आहे त्यापासून वजा केले असतां जे भार घर्षणाला प्रतिहत करायाला लागले ते शेष रहातील. हे शेवटले भार जें अंतर कपीचा अर्धव्यास आणि दोरीचा अर्धव्यास याचा बेरीजेशीं समान आहे त्या अंतराने गतीचा केंद्रापासून क्रिया करितात यास्तव जें घर्षण आंसावर उपलब्ध आहे आणि जे फार मंद गतीचा प्रकारामध्ये त्या भाराशीं समतोलन उत्पन्न करितें असें मानिलें जाईल. यास्तव तें घर्षण कपी व दोरी याचा अर्धव्यासाचा बेरीजेशीं जें प्रमाण आंसाचा अर्धव्यासाशीं आहे तें प्रमाण आणि ते भार या दोहोंचा गुणाकाराशीं समान आहे. तें प्रमाण जेव्हां भार बारक्या दोऱ्याने टांगिला आहे तेव्हां (१) यास (७) सुमारें असें आहे आणि जेव्हां पहिल्या जातीचा दोरीने टांगिला आहे तेव्हां तें प्रमाण (१) यास (७·२) सुमारें असें आहे. अशा विचारावरून नववी पंक्ति गणिली होती. आठव्या पंक्तींत जे भार दाखविले आहेत ते पुढल्यांची बेरीज आहेत ह्मणजे पहिला कपीचा ह्मणजे सिलिंडराचा भार दुसरा पांचव्या पंक्तीचा अनुरूप भाराचा दुप्पट भार आणि तिसरा साहाव्या पंक्तींतला भार आहे. कारण हे तीन प्रकारचे भार मिळून आंसावरचें चेपण घडतें.

यास्तव जें दाहाव्या पंक्तींत दाखविलें आहे तसें चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण शोधायाचें असलें तर नवव्या पंक्तींतल्या कोणी एका संख्येला आठव्या पंक्तींतल्या तिशीं अनुरूप संख्येने मात्र भागिली पाहिजे.

निर्निराळ्या जातीचीं लांकूडें वर्तुल गति करणाऱ्या यंत्रामध्ये सामान्यतः असतात त्या लांकूडाचा गति करणाऱ्या आंसांचें घर्षण शोधायास कोलोंब साहेबाने अणखी यत्न केला. घर्षणाला अधिक प्रत्यक्ष करायासाठीं याणे जा (१२) इंचा व्यासाचा कप्प्या (३) इंचांचा आंसावर योजिल्या आहेत तशा घेतल्या. केव्हां केव्हां ते आंस स्थिर असत आणि केव्हां केव्हां ते गतिमंत असत परंतु दोन्हीं प्रकारामध्ये घर्षण एकच होतें. सलग्न पृष्ठांला गुळगुळीत करायासाठीं आणि तीं गुळगुळीत न केलीं असतां जी फलांमध्ये विषमता उत्पन्न होती ती दूर करावयासाठीं कांहीं चांगल्या युक्ति केल्या आहेत.

कोष्टक (९)

जीं लांकुडें परीक्षांमध्ये उपयोगांत घेतलीं होतीं त्यांचा जाती	चेपणाशीं घर्षणाचें प्रमाण
हाल्म ओकाचा आंस आणि लिगनमवेटीची डबी हीं चरबीने चोपडलीं	०.०३८
इतर सर्व पूर्ववत् असून चरबी काढिली असतां पृष्ठें तेलकट राहिलीं	०.०६
आंस आणि डबी पूर्ववत् परंतु चोपडणें नवें केल्यावांचून तीं अनेकवेळ उपयोगांत घेतलीं	०.०६ ०.०८
हाल्म ओकाचा आंस डबी एल्माची आणि तीं चरबीने चोपडलीं	०.०३
पूर्ववत् आंस आणि डबी यांपासून चरबी पुसून टाकली असतां पृष्ठें तेलकट राहिलीं.	०.०६
बाक्स झाडाचा आंस असतां लिगनमवेटीची डबी आणि तीं चरबीने चोपडलीं.	०.०५२

पूर्ववत्

पूर्ववत् चरबी पुसली असतां पृष्ठें तेलकट राहालीं	०.०७
बाक्स झाडाचा आंस एल्माची डबी	०.०३९
पूर्ववत् तें चोपडणें पुसलें	०.०५
लोखंडाचा आंस लिगनमवैटीची डबी तें चोपडणें काढलें असतां आणि कपी कांहीं काळांपर्यंत फिरविली	०.०५

गतीचे पहिले क्षण वगळले असतां वेग कांहीं प्रत्यक्ष प्रकारें घर्षणाला लागत नाहीं असें दिसतें आणि प्रत्येका प्रकारामध्ये जेव्हां पृष्ठें पूर्ववत् चोपडलीं तेव्हां घर्षण सर्वांहून कमी नसतें परंतु जेव्हां तीं नुसतीं तेलकट आहेत तेव्हां कमी असतें.

दोरीचा अनम्रतेविषयीं जा परीक्षा वर्णिल्या आहेत त्या जा प्रकारामध्ये गति सुमारें प्रत्यक्ष नव्हत्या. त्यांत योजिल्या होत्या परंतु कोलोंब साहेबाने विचारिलें कीं कांहीं जाणिलेल्या वेगांशीं दोऱ्यांचा अनम्रतेचा कार्याचीं फळें अधिक झालीं किंवा कमी झालीं यासाठीं त्याणें तांब्याची एक कपी आणि डबी घेतली आणि लोखंडाचा आंस घेऊन त्यावर चरबी चोपडली. कपीचा व्यास (१४४) लैन होता आणि आंसाचा व्यास (२०½) लैन आणि दोरी (३०) तीस सूतांची होती ह्मणजे तिसऱ्या जातीची होती. दोरीचा प्रत्यक्ष वेगांशीं संबंद्ध अशी अनम्रता कांहीं पूर्वोक्त परीक्षांनी शोधिली होती. वक्ष्यमाण कोष्टकांत त्या परीक्षांचीं फळें दाखविलीं आहेत. भाराला (६) फुटी प्रदेशांतून चालविले आणि पहिल्या तीन फुटी आणि शेवटल्या तीन फुटी क्रमायाचे काळ अर्धसेकंडाचा लंबकाने माजिले होते.

कोष्टक ६

परीक्षांचा क्रमांक	कपीच्या प्रत्येक बाजूवर योजिलेले भार	कपीला मेराव यासाठीं योजिलेले अधिक भार	घर्षण आणि अनम्रता यांला प्रतिहत करावयासाठीं भाराचे भाग	कपीवर योजिलेल्या भारांची गति	आंसाचा चेपणाचे रतल	कपीचा शेवटाव र क्रिया करून घर्षणाला समतोलनांत ठेविणारे भार	जे भार कपीला प्रेरितात त्यापासून सिद्ध झालेली दोरीची अनम्रता	दोरीच्या ताण आणि पूर्वींचा परीक्षा यावरून गणिलेली दोरीची अनम्रता
	रतल	रतल	रतल		रतल	रतल	रतल	रतल
१	१००	७·९	७·९	मंद आणि सतत	२२१	२·६	४·९	४·०
		१२	७·६	पहिल्या तीन फुटींतून २ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून १½ सेकंडांत पडला.				
		१५	७·६	पहिल्या तीन फुटींतून २ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून १½ सेकंडांत पडला				
२	२००	११	११	मंद आणि अनिश्चित	४२५	४·९	६·१	६·६
		१५	१२·५	पहिल्या तीन फुटींतून ६ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून ३ सेकंडांत पडला.				
		१९	१२·२	पहिल्या तीन फुटींतून ३½ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून १½ सेकंडांत पडला.				
३	४००	२०·५	२०·५	मंद आणि अनिश्चित	८३४	९·७	१०·८	११·८
		२४	१९·५	पहिल्या तीन फुटींतून ६ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून ३ सेकंडांत पडला				
		३१	१७·६	पहिल्या तीन फुटींतून ३ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून २ सेकंडांत पडला				
४	६००	३१·५	३१·५	अनिश्चित आणि सतत	१२३५	१४·५	१७·०	१७·०
		३७	३१·५	पहिल्या तीन फुटींतून ६ सेकंडांत पडला आणि शेवटल्या तीन फुटींतून १½ सेकंडांत पडला				

(३) कोष्टकांत असें दिसलें कीं तिसऱ्या जातीचा (३०) सूतांचा दोरीला (१२) इंचाव्यासाचा लाट्यांवर (९००) रतलांचा ताणा सहवर्तमान नमवायास (१४·४) रतलांचा भार पाहिजे. या भाराचा जो सतत भाग दोरीचा निर्मितिप्रमाणे सांगायाचा आहे तो सुमारें (१·४) रतल आहे हें मान ठेवितां येईल परंतु दोरीचा ताणाचा जो भाग सांगायाचा आहे तो एथे पांचानीं भागायास योग्य आहे. ह्मणजे $\frac{१}{५}$ (१४·४ − १·४) = $\frac{१}{५}$ × १३ = २·६ रतल अशा मूलकारणावरून उजव्या बाजूची शेवटली पंक्ति गणिली होती.
